



ACADEMIA MILITAR

Mestrado integrado em Ciências Militares na especialidade de Artilharia

Programa de Cálculo da Balística Externa para o Obus M114A1 155mm/23

Autor: Aspirante de Artilharia Bruno Filipe Pereira Correia

Orientador: Professor Doutor José Alberto de Jesus Borges

Coorientador: Major de Artilharia Humberto Miguel Rodrigues Gouveia

Relatório Científico Final do Trabalho de Investigação Aplicada

Lisboa, maio de 2020



ACADEMIA MILITAR

Mestrado integrado em Ciências Militares na especialidade de Artilharia

Programa de Cálculo da Balística Externa para o Obus M114A1 155mm/23

Autor: Aspirante de Artilharia Bruno Filipe Pereira Correia

Orientador: Professor Doutor José Alberto de Jesus Borges

Coorientador: Major de Artilharia Humberto Miguel Rodrigues Gouveia

Relatório Científico Final do Trabalho de Investigação Aplicada

Lisboa, maio de 2020

EPÍGRAFE

“The first rule of any technology used in a business is that automation applied to an efficient operation will magnify the efficiency.”

Bill Gates

DEDICATÓRIA

À minha família, namorada, camaradas e amigos, por todo o apoio e motivação
demonstrados ao longo do meu percurso na Academia Militar.

AGRADECIMENTOS

O presente Trabalho de Investigação Aplicada representa o culminar de cinco anos de formação na Academia Militar. Este é resultado do contributo de várias pessoas que trabalharam para o meu desenvolvimento enquanto homem e militar, e que me apoiaram e motivaram ao longo deste processo, às quais deixo o meu apreço em particular.

Ao Professor Doutor José Borges, que na qualidade de orientador esteve sempre disponível para me ajudar e guiar no desenvolvimento deste trabalho. Por me ter ainda disponibilizado a possibilidade de realizar um curso online de programação em Excel, suportando o seu custo, munindo-me de conhecimento e ferramentas que foram indispensáveis para o desenvolvimento da calculadora de tiro. Por todas as ideias que partilhou durante as nossas reuniões, procurando sempre elevar a fasquia a atingir no trabalho, e por me ter apresentado e confiado o *software* de modelação e simulação balística PRODAS, imprescindível para a análise dos resultados.

Ao Major de Artilharia Humberto Gouveia, por toda a dedicação e apoio que mostrou como coorientador, disponibilizando alguns ficheiros que me guiaram para o desenvolvimento do produto final. Por todo o seu feedback e sugestões dadas ao longo do desenvolvimento do programa, que surgiram de todos os testes que foi realizando na calculadora, testando a sua possível utilização em ambiente didático. Pelo seu trabalho como professor regente da cadeira de Sistemas de Armas de Artilharia e Tiro I e II, onde expôs todo o conhecimento sobre o Tiro de Artilharia que foi utilizado para a realização deste trabalho, em conjunto com o professor adjunto Capitão de Artilharia Simão Moreira, que serviu de constante motivação no decurso da investigação. Pelo papel desempenhado como Diretor de Curso que deu a conhecer o rigor Artilheiro, que moldou o meu carácter e me fez crescer como Artilheiro, apresentando ser em todas as situações um exemplo a seguir.

Agradecer também ao Tenente Coronel de Artilharia Élio Santos, que na sua função também de Diretor de Curso, mostrou-se disponível de tratar de questões logísticas com o Regimento de Artilharia N.º 5, facilitando a minha presença no exercício de fogos reais lá realizado.

Agradecer ao que foi denominado “melhor curso do século” pelo Major de Artilharia Gouveia, pela união, espírito de sacrifício e camaradagem demonstrados ao longo da nossa formação, tanto na Academia Militar como na Escola das Armas. Também

ao curso General Tomás António Garcia Rosado por toda a união e momentos partilhados ao longo destes dos cinco anos de formação.

À minha família por todo o apoio demonstrado nos momentos mais difíceis passados na Academia Militar, que me levou a ultrapassá-los e alcançar tudo o que consegui.

À minha namorada por todo o apoio, compreensão e disponibilidade para ajudar demonstrados desde o momento em que nos conhecemos.

Por fim, agradecer a todos os que não foram mencionados, mas que contribuíram direta ou indiretamente para a minha formação.

RESUMO

O presente Trabalho de Investigação Aplicada é subordinado ao tema “Programa de Cálculo da Balística Externa para o Obus M114A1 155mm/23”.

O objetivo geral desta investigação é o desenvolvimento de uma calculadora de tiro que permita apoiar de forma automática o trabalho do calculador do Posto Central de Tiro na execução de todas as técnicas de tiro previstas no regulamento de tiro.

Com vista a alcançar este objetivo foram estabelecidos quatro objetivos específicos. Primeiro, o de criar uma calculadora de tiro para o Obus M114 A1 155mm/23 que permita executar as técnicas de tiro previstas no regulamento de tiro de Artilharia de Campanha. Depois, estender as suas funcionalidades para o seu emprego com o obus M119 105mm LG/30/m98. Posteriormente, construir a estrutura visual da calculadora de forma a que esta apresente semelhança com a existente nos impressos de tiro utilizados no cálculo manual. Por último, validar a calculadora em ambiente virtual, com o *software* de modelação e simulação balística *Projectile Design/Analysis System*, e em ambiente operacional, de exercício de fogos reais.

Para além destes objetivos inicialmente propostos, surgiu um novo objetivo que não estava previsto, que foi o desenvolvimento de uma aplicação que fosse capaz de substituir a Prancheta de Tiro Topográfica e a sua inclusão no trabalho.

Relativamente ao método utilizado para a realização deste trabalho, foi escolhido o processo de *product design* de engenharia, pois os produtos desenvolvidos por este resultam da necessidade de alguém querer que um problema seja resolvido de forma mais célere ou eficiente, como é o caso da calculadora em questão.

Foi feito um enquadramento teórico, focando essencialmente dois pontos, o Tiro de Artilharia de Campanha e a balística externa. Os dados recolhidos nesta investigação foram obtidos ao utilizar a calculadora num exercício de fogos reais que teve a duração de dois dias, onde se realizaram quatro missões de tiro distintas.

A análise aos resultados obtidos permitiu concluir que a determinação dos Elementos Topográficos na calculadora traz um maior grau de precisão do que a sua determinação pelo método manual, o que por sua vez garante mais precisão no cálculo dos Elementos de Tiro.

Palavras-chave: Cálculo Automático de Tiro, Elementos Topográficos, Elementos de Tiro, Simulação do Tiro de Artilharia, Programação em VBA-Excel

ABSTRACT

This research focuses on the topic “Exterior Ballistics Calculation Program for the 155mm Howitzer M114A1”.

The main goal of this research is the development of a firing calculation program which allows the Chief Fire Control Sergeant to perform his work on the Fire Direction Center for all the firing techniques described on the national Gunnery Manual in an automated way.

To accomplish this purpose four specific objectives were established. The first was to create a firing calculation program for the 155mm Howitzer M114A1 that includes the firing techniques described on the national Gunnery Manual. Next to extend the program capabilities allowing it to be used with the 105mm Howitzer M119. After that, to build the computational interface in a way that it resembles the appearance of the record of fire. In last place to validate the firing calculation program in a virtual environment, using the Projectile Design/Analysis System software, and in a field environment, of a Live Fire Exercise.

In addition to the objectives initially set, a new objective emerged, namely the development of a program that could complement the Firing Chart and its inclusion on the firing calculation program.

As for the method used on this research, the engineering design process was chosen, since the product development method in this approach is a result from user requirements for a given problem, therefore resulting in straightforward and efficient problem solving, such as the approach followed in this work for the firing calculation program.

A conceptual framework was made, focusing mainly two points, the gunnery problem, and the exterior ballistics. The experimental data gathered for this research was collected by experimenting the firing calculation program in a two days Live Fire Exercise, resulting on four different fire missions.

By analyzing the gathered results, we were able to acknowledge that the determination of Chart Data in the firing calculation program is more precise than the manual determination, which grants that the Firing Data is more precise as well.

Keywords: Automatic Firing Calculation, Topographic Chart Data, Firing Data, Simulation of Artillery Firing, Programming in Excel and Visual Basic for Applications

ÍNDICE GERAL

INTRODUÇÃO

CAPÍTULO 1 – ENQUADRAMENTO TEÓRICO.....	4
1.1 – O Sistema de Artilharia de Campanha	4
1.1.1 – Constituição do Sistema de Artilharia de Campanha.....	4
1.2 – O Tiro de Artilharia.....	5
1.2.1 – O Problema do Tiro.....	5
1.2.2 – A Equipa de Tiro de Artilharia de Campanha.....	6
1.2.3 – Elementos Topográficos.....	7
1.2.4 – Elementos de Tiro	8
1.3 – Balística Externa	11
1.3.1 – Modelos de Trajetória	12
1.3.1.1 – <i>Six Degrees of Freedom Model</i>	13
1.4 – Programa de Tiro para o Obus M114A1 155mm/23.....	16
CAPÍTULO 2 – METODOLOGIA.....	19
2.1 – Tipo de Estudo	19
2.2 – Modelo de Análise	20
CAPÍTULO 3 – MÉTODOS E MATERIAIS.....	23
3.1 – Métodos e Técnicas de Recolha de Dados	23
CAPÍTULO 4 – RESULTADOS	25
4.1 – Missão de Tiro n.º 1	25
4.2 – Missão de Tiro n.º 2	28
4.3 – Missão de Tiro n.º 3	30
4.3 – Missão de Tiro n.º 4	32
CAPÍTULO 5 – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	34
5.1 – Análise às Funcionalidades do Programa.....	34
5.2 – Análise aos Resultados.....	35
CAPÍTULO 6 – PROGRAMA DE CÁLCULO BALÍSTICO NA ÓTICA DO UTILIZADOR	38
6.1 – Dados Iniciais.....	38
6.2 – Objetivos Planeados	39
6.3 – Ajuda	39

6.4 – Registo de Tiro	39
6.5 – Registo de Tiro Preparação Experimental.....	41
6.6 – Registo de Tiro (verso).....	42
6.7 – Impresso PMP-PMT.....	43
6.8 – Impresso Preparação Teórica Concorrente e Subsequente	43
CAPÍTULO 7 – PROGRAMAÇÃO DO PROGRAMA DE CÁLCULO	
BALÍSTICO.....	44
7.1 – Determinar Elementos Topográficos	44
7.2 – Determinar Elementos de Tiro	47
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	
BIBLIOGRAFIA	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura n.º 1 – O Problema do Tiro	6
Figura n.º 2 – Sistema de Coordenadas para o modelo 6-DOF.....	13
Figura n.º 3 – Processo de Design de Engenharia.....	21
Figura n.º 4 – Utilização do software PRODAS	24
Figura n.º 5 – Projétil 105mm no PRODAS	25
Figura n.º 6 – Registo de Tiro da Missão de Tiro n.º 1	26
Figura n.º 7 – Variação da Distância na Missão de Tiro n.º 1.....	27
Figura n.º 8 – Registo de Tiro da Missão de Tiro n.º 2	28
Figura n.º 9 – Variação da Distância na Missão de Tiro n.º 2.....	29
Figura n.º 10 – Registo de Tiro da Missão de Tiro n.º 3	30
Figura n.º 11 – Variação da Distância na Missão de Tiro n.º 3.....	31
Figura n.º 12 – Registo de Tiro da Missão de Tiro n.º 4	32
Figura n.º 13 – Variação da Distância na Missão de Tiro n.º 4.....	33
Figura n.º 14 – Correções de Posição em Dados Iniciais	II
Figura n.º 15 – Dados Topográficos em Dados Iniciais.....	III
Figura n.º 16 – Lote da Munição e Meteograma em Dados Iniciais	III
Figura n.º 17 – Ordem de Tiro Normalizada e Comando de Tiro Normalizado em Dados Iniciais.....	IV
Figura n.º 18 – Exemplo de Resultados no PRODAS.....	IV
Figura n.º 19 – Impresso PMP-PMT em Excel	V
Figura n.º 20 – Impresso Preparação Teórica em Excel	VI
Figura n.º 21 – Objetivos Planeados	VII
Figura n.º 22 – Painel Inicial	VII
Figura n.º 23 – Registo de Tiro em Excel	VIII
Figura n.º 24 – Registo de Tiro Preparação Experimental em Excel	IX
Figura n.º 25 – Verso do Registo de Tiro em Excel.....	X
Figura n.º 26 – Ângulo de Observação.....	XII
Figura n.º 27 – Direção para os Obuses M119 LG e M109A5	XII
Figura n.º 28 – Impresso PMT/PMT	XIII
Figura n.º 29 – Impresso Preparação Teórica Concorrente/Subsequente	XIV
Figura n.º 30 – Projétil 155mm	XV

Figura n.º 31 – Registo de Tiro	XV
Figura n.º 32 – Tábua de Tiro Numérica.....	XVI
Figura n.º 33 – Tarefas no PCT	XVII
Figura n.º 34 – Verso do Registo de Tiro.....	XVII
Figura n.º 35 – Verso do Registo do Comandante de Secção	XVIII

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro n.º 1 - Notações Matemáticas	16
Quadro n.º 2 - Missão de Tiro n.º 1	27
Quadro n.º 3 - Missão de Tiro n.º 2	29
Quadro n.º 4 - Missão de Tiro n.º 3	31
Quadro n.º 5 - Missão de Tiro n.º 4	33

LISTA DE APÊNDICES E ANEXOS

Apêndice A – Dados Iniciais: Correções de Posição	II
Apêndice B – Dados Iniciais: Dados Topográficos	III
Apêndice C – Dados Iniciais: Lote da Munição e Meteograma	III
Apêndice D – Dados Iniciais: Ordem de Tiro Normalizada e Comando de Tiro Normalizado	IV
Apêndice E – Exemplo de Resultados no PRODAS	IV
Apêndice F – Impresso PMP/PMT em Excel	V
Apêndice G – Impresso Preparação Teórica em Excel	VI
Apêndice H – Objetivos Planeados	VII
Apêndice I – Painel Principal	VII
Apêndice J – Registo de Tiro em Excel	VIII
Apêndice K – Registo de Tiro Preparação Experimental em Excel	IX
Apêndice L – Verso do Registo de Tiro em Excel	X
Anexo A – Ângulo de Observação	XII
Anexo B – Direção Topográfica	XII
Anexo C – Impresso PMP/PMT	XIII
Anexo D – Impresso Preparação Teórica Concorrente / Subsequente	XIV
Anexo E – Projétil 155mm	XV
Anexo F – Registo de Tiro	XV
Anexo G – Tábua de Tiro Numérica	XVI
Anexo H – Tarefas no Posto Central de Tiro	XVII
Anexo I – Verso do Registo de Tiro	XVII
Anexo J – Verso do Registo do Comandante de Secção	XVIII

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

6-DOF	<i>Six Degrees of Freedom Model</i>
ABCA	<i>American, British, Canadian, Australian</i>
AC	Artilharia de Campanha
AFATDS	<i>Advanced Field Artillery Tactical Data System</i>
AM	Academia Militar
BCS	<i>Battery Computer System</i>
Btrbf	Bateria de bocas de fogo
CCAS	Correção Complementar do Ângulo de Sítio
CCUAS	Correção Complementar Unitária do Ângulo de Sítio
CINAMIL	Centro de Investigação, Desenvolvimento e Inovação da Academia Militar
Corr Tor Dc	Correção Total em Dc
DV	Direção de Vigilância
EME	Estado-Maior do Exército
FCCS	Fator de Correção Complementar de Sítio
GAC	Grupo de Artilharia de Campanha
GB	<i>Green Bag</i>
GEp	Graduação de Espoleta
LFX	<i>Live-Fire Exercise</i>
LO	Linha de Observação
LT	Linha de Tiro

MOAC	<i>Microsoft Official Academic Course</i>
NATO	<i>North Atlantic Treaty Organization</i>
NEP	Norma de Execução Permanente
OAv	Observador Avançado
PCT	Posto Central de Tiro
PDE	Publicação Doutrinária do Exército
PDF	<i>Portable Document Format</i>
PMP	Ponto Médio de Percussões
PMT	Ponto Médio de Tempos
PR	Ponto de Referência
PRODAS	<i>Projectile Design/Analysis System</i>
QO	Quadro Orgânico
RCFTIA	Relatório Científico Final do Trabalho de Investigação Aplicada
SACC	Sistema Automático de Comando e Controlo
TDD	Transferidor de Direção e Distâncias
TIA	Trabalho de Investigação Aplicada
TTG	Tábua de Tiro Gráfica
TTN	Tábua de Tiro Numérica
u.g.e.	Unidade de Graduação de Espoleta
VBA	<i>Visual Basic for Applications</i>
WB	<i>White Bag</i>

INTRODUÇÃO

No âmbito do ciclo de estudos dos mestrados integrados da Academia Militar (AM), surge o presente Relatório Científico Final do Trabalho de Investigação Aplicada (RCFTIA), denominado “Programa de Cálculo da Balística Externa para o Obus M114A1 155mm/23”. Este trabalho representa o culminar deste ciclo, que se traduz na obtenção do grau de Mestre em Ciências Militares, na especialidade de Artilharia.

Uma vez que o atual Sistema Automático de Comando e Controlo (SACC) para a Artilharia de Campanha (AC) do Exército Português, nomeadamente o *Advanced Field Artillery Tactical Data System* (AFATDS), se encontra obsoleto, revelou-se pertinente desenvolver trabalho de investigação conducente ao desenvolvimento de um programa informático que permita o cálculo automático de elementos de tiro para o obus. Assim, esta temática foi escolhida de forma a garantir a motivação pessoal constante durante todo o trabalho, primeiramente pela natureza maioritariamente prática que advém da construção de um projeto deste tipo, e posteriormente pela importância que este terá para o Exército Português, na eventualidade de ser usado em contexto operacional no apoio ao tiro de AC.

Segundo esta linha de investigação, foi desenvolvido um Trabalho de Investigação Aplicada (TIA) apresentado por Figueira (2018), designado “Programa de Tiro para o Obus M114A1 155mm/23”. Este apresentou uma calculadora de tiro para o Obus M114A1 155mm/23 cujo domínio tratava a Carga 1 *Green Bag* (GB) e algumas técnicas de tiro. Deste modo pretende-se dar continuidade ao projeto, criando um programa de tiro que permita executar as técnicas de tiro previstas na Publicação Doutrinária do Exército (PDE) 3-38-13 Tiro de Artilharia de Campanha, bem como para todas as cargas propulsoras em uso no Exército Português, para granadas de calibre 155mm, de forma a disponibilizar um programa informático que permita o cálculo automático de Elementos de Tiro.

O objetivo geral do presente TIA tem como base o desenvolvimento de uma calculadora de tiro que permita apoiar de forma automática o trabalho do calculador do Posto Central de Tiro (PCT) na execução de todas as técnicas de tiro previstas na PDE 3-38-13.

De acordo com o objetivo geral deste trabalho, resultaram os seguintes objetivos específicos: a continuação do trabalho anteriormente descrito, criando uma calculadora

de tiro para o Obus M114A1 155mm/23 que permita executar as técnicas de tiro previstas na PDE 3-38-13, para todas as cargas propulsoras em uso no Exército Português para granadas de calibre 155mm; extensão das funcionalidades da calculadora para o seu emprego com o obus M119 105mm LG/30/m98; a construção da estrutura visual (ou seja o interface computacional) da calculadora de forma a que apresente semelhança com a existente nos impressos de tiro utilizados no cálculo manual; por fim a validação da calculadora em ambiente virtual, com o *software* de modelação e simulação balística *Projectile Design/Analysis System* (PRODAS), bem como em ambiente operacional, em exercícios de fogos reais, para aferir o desempenho da solução desenvolvida e garantir que confere igual ou maior precisão dos elementos determinados pelo cálculo manual.

A prancheta de tiro topográfica é uma representação gráfica de uma parte da superfície da Terra, usada para determinar os elementos topográficos numa missão de tiro, sendo estes as distâncias, direções e ângulos de observação. Foi ambicionado neste trabalho que estes três elementos fossem obtidos automaticamente na calculadora de tiro desenvolvida.

Existem já no Exército Português outros sistemas de cálculo de tiro em utilização. Um deles, é o *Battery Computer System* (BCS), um sistema que se situa no PCT da Bateria (Figueira, 2018). Este sistema veio apoiar o processo manual para a determinação dos Elementos de Tiro, contribuindo para a direção técnica do tiro determinando de forma automática estes mesmos elementos (Ferreira, 2008). Veio então permitir que os Elementos de Tiro fossem calculados o mais rapidamente possível, permitindo uma resposta a um maior número de missões de tiro. No entanto, este não pode ser utilizado no Obus M114A1 155mm/23, uma vez que não dispõe dos respetivos dados balísticos.

Outro sistema em utilização é o *Gunzen Mk3*, um computador portátil que foi projetado para realizar o cálculo automático dos Elementos de Tiro. Segundo Ferreira (2008), o calculador opera este computador de controlo de tiro de forma a conferir os elementos de tiro obtidos no BCS, garantindo ao mesmo tempo o correto preenchimento dos registos de tiro. Assim, mesmo que seja adquirido um novo sistema, o programa automático a realizar poderá servir como alternativa, e eventualmente ser adotado pelo Exército Português.

Em relação à Metodologia de Investigação, utilizou-se o processo de *product design* de engenharia. O processo escolhido pretende estudar algo para alcançar uma solução a um dado problema, no caso deste trabalho, o desenvolvimento de um programa de cálculo automático que auxilie a função do calculador num PCT. Este é um processo

iterativo, o que significa que a solução vai se adaptando ao longo da evolução do trabalho, sendo que a atividade do projeto é então de natureza cíclica ou iterativa (Khandani, 2005).

Relativamente à estrutura do presente trabalho, a parte textual inicia-se com o presente capítulo, a introdução do trabalho onde é apresentada a motivação e a justificação do tema, são definidos os objetivos gerais e específicos, descrita a metodologia de investigação e ainda a estrutura do trabalho. Após a introdução, o trabalho é composto por sete capítulos, em que o primeiro apresenta um enquadramento à temática estudada, iniciando pelo tiro de AC, passando pela balística externa e apresentando uma análise feita ao trabalho aqui anteriormente disposto.

No segundo capítulo é retratada a metodologia em que se baseou o presente trabalho, seguido do terceiro capítulo onde é caracterizado o contexto de observação no tempo e no espaço, evidenciando os métodos e técnicas de recolha de dados. No quarto e quinto capítulos serão apresentados respetivamente os resultados obtidos na investigação, recolhidos num exercício de fogos reais e no *software* de modelação e simulação balística PRODAS, e a análise feita aos mesmos.

Posteriormente, no sexto capítulo é apresentado o modo de funcionamento do programa desenvolvido na ótica do utilizador, sendo que no sétimo capítulo é apresentado e explicado algum do código mais importante desenvolvido, procurando explicar algumas das funcionalidades da calculadora criada.

Por fim, no último capítulo são divulgadas as conclusões ao trabalho e recomendações futuras, terminando com a apresentação das referências bibliográficas.

CAPÍTULO 1 – ENQUADRAMENTO TEÓRICO

1.1 – O Sistema de Artilharia de Campanha

O Sistema de AC é o conjunto dos meios de Artilharia que permitem bater eficaz e oportunamente os objetivos que se encontram em condições de interferir na execução do plano de manobra da força apoiada (Estado-Maior do Exército [EME], 2004). Assim, tal como é descrito pelo EME (1988), a AC tem por missão geral assegurar o apoio de fogos contínuo e oportuno ao comandante da força, integrando todo o apoio de fogos nas suas operações.

O emprego da AC é suscetível de ser flexibilizado, podendo desta maneira possibilitar um apoio de fogos mais rápido em detrimento da precisão, ou mais preciso, em detrimento da rapidez (Academia Militar [AM], 2016a). No entanto, de acordo com Smootz e Kass (1984), a evolução dos meios inimigos irá exigir à Artilharia que consiga realizar um tiro preciso e de forma muito rápida. Isto faz com que o desenvolvimento de um programa de cálculo automático dos elementos de tiro seja uma boa solução para combater esta necessidade, dando ênfase à importância deste trabalho.

1.1.1 – Constituição do Sistema de Artilharia de Campanha

O Sistema de AC contribui com os seus próprios meios para o Sistema de Apoio de Fogos global (AM, 2016a). Este inclui normalmente os três subsistemas de Aquisição de Objetivos, Armas e Munições e Comando, Controlo e Coordenação.

Com o intuito de conseguir os efeitos desejados no objetivo, a AC deve possuir os meios necessários à execução do tiro. Reputam-se como primordiais os meios de Aquisição de Objetivos, Direção e coordenação de tiro, Processamento automático de dados, Topografia, Meteorologia, Transmissões, Apoio logístico e Locomoção, de acordo com a doutrina nacional. Destes meios abordados, o processamento automático de dados é aquele que ganha maior destaque para a elaboração deste trabalho.

“Os mais modernos meios de processamento automático de dados compreendem computadores táticos de tiro. Estes computadores aumentam a eficácia e a prontidão de resposta da Artilharia devido à maior precisão e rapidez dos cálculos, à melhor e mais rápida análise das notícias sobre os objetivos e à maior eficiência na determinação da capacidade das unidades para a execução das missões de tiro” (AM, 2016a, p. 35).

1.2 – O Tiro de Artilharia

Das características do apoio de fogos, sobressaem-se a flexibilidade e a disponibilidade do emprego de fogos como as mais importantes. Neste sentido, as diversas técnicas de aplicação tática dos fogos de AC têm em vista a produção de efeitos no objetivo (AM, 2016c). Como tal, a capacidade de efetuar todos os tipos de fogos requer o domínio das técnicas de processamento dos Elementos de Tiro e dos procedimentos de cálculo manual do PCT, bem como das características dos materiais e das munições (EME, 2012).

O domínio de todos os procedimentos do cálculo manual é um fator determinante para o tiro de AC. Contudo, o tiro de AC deverá também responder às exigências de apoio de fogos no moderno Espaço de Batalha de forma a garantir a execução de fogos, planeados ou desencadeados em ações imediatas, acautelando a prontidão de resposta e a sobrevivência das Unidades de Tiro e possibilitando a sua mobilidade e flexibilidade de emprego (EME, 2012). Seguindo esta linha de pensamento a rapidez surge também como uma necessidade, mas tendo em conta o discutido anteriormente, maior rapidez implicaria menor precisão. Todavia, tal como concluiu Mendez (2019), de entre estas duas considera-se que a precisão tem maior impacto e influência no atual ambiente operacional. Se a isto adicionarmos a ideia de Smootz e Kass apresentada anteriormente, podemos afirmar que é necessário encontrar soluções para combater este antagonismo entre a rapidez e precisão, e procurar ser mais preciso de forma mais rápida, não descurando um nem outro, e a solução para isso surge através das calculadoras de tiro.

1.2.1 – O Problema do Tiro

De acordo com o *U.S. Department of the Army* (2016), as unidades de tiro de Artilharia batem objetivos a longas distâncias e a partir de posições desenfiadas, pelo que o problema do tiro é um problema de tiro indireto, ou seja, não existe intervisibilidade entre as unidades e o objetivo. De acordo com o EME (2012), o problema do tiro (Figura n.º 1) consiste em determinar os Elementos de Tiro e escolher a combinação granada-espoleta mais adequada para que o apoio de fogos se traduza de acordo com os efeitos desejados.

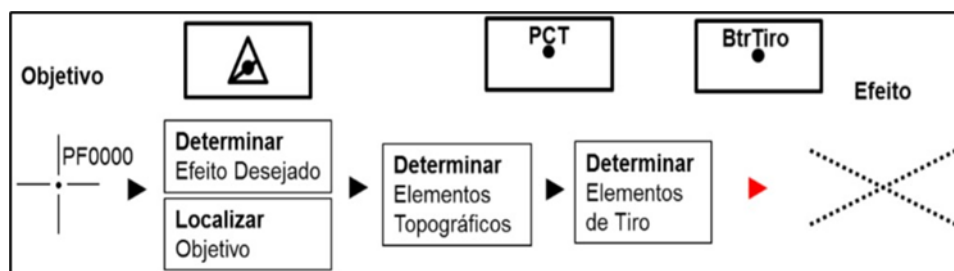


Figura n.º 1 – O Problema do Tiro

Fonte: Figueira (2018)

Para resolver o problema do tiro é necessário um conhecimento rigoroso da localização das Unidades de Tiro e do objetivo a bater, a determinação dos elementos topográficos (Rumo, distância e diferença de cotas), a conversão destes em Elementos de Tiro (Direção, Elevação e Graduação de Espoleta) e, por fim, a introdução destes elementos nos aparelhos de pontaria das bocas de fogo e na munição (EME, 2012). Esta solução permite obter o rebentamento do projétil no objetivo ou à vertical deste, a uma altura predefinida, de forma a maximizar os efeitos de cada rebentamento sobre o mesmo.

1.2.2 – A Equipa de Tiro de Artilharia de Campanha

O problema do Tiro de AC é resolvido através da equipa de Tiro de AC. Esta equipa é constituída pelo Observador Avançado (OAv), pelo PCT e pelas Secções de Bocas de Fogo, ligados por um sistema de comunicações adequado. Isto exige desta equipa que a operação seja executada com rapidez e continuidade, de modo a reduzir ao mínimo o tempo de execução das Missões de Tiro (EME, 2012).

A equipa de observação avançada constitui a componente de “aquisição de objetivos” do Sistema de AC, uma vez que deteta, localiza e identifica objetivos remuneradores a serem batidos pelas Secções de bocas de fogo (EME, 2012). Para bater um objetivo em tiro indireto, o OAv efetua um Pedido de Tiro, regula a execução desse tiro sobre o objetivo e controla outros tiros que sejam executados na sua zona de responsabilidade. (AM, 2016c).

“A Direção do Tiro de AC consiste no emprego adequado do potencial de fogos indiretos e engloba a Direção Tática e Técnica do Tiro” (EME, 2012). O PCT é o órgão do Sistema de AC no qual são executadas estas duas funções, onde a proficiência na determinação dos Elementos de Tiro irá influenciar a precisão, flexibilidade e rapidez conseguidas na execução de Missões de Tiro (AM, 2016f). Este constitui a componente

de “cálculo de tiro” do Sistema de AC, tendo como competências as seguintes:

- 1.Receber Pedidos de Tiro dos OAv;
- 2.Implantar os objetivos nas Pranchetas Topográficas;
- 3.Determinar os Elementos de Tiro;
- 4.Transmitir às Secções/Pelotões/Baterias as Missões de Tiro e os Elementos de Tiro.

No cálculo do tiro manual, o PCT de uma Bateria (Anexo H) é constituído pelo Chefe do PCT, Calculador, Operador Planimétrico, Operador de Sítios e radiotelefonista (EME, 2012). É de salientar que os Quadros Orgânicos (QO) mais recentes preveem apenas um Operador de PCT, que acumulará as funções de Operador de Sítios e Operador Planimétrico, e não preveem a função de radiotelefonista. Em relação a um PCT automático, não está prevista nenhuma organização específica, porém Ferreira (2008) elaborou uma proposta onde é sugerido que o PCT seja constituído por quatro elementos, sendo eles um Chefe do PCT, um Calculador, um Operador Planimétrico e de Sítios e um Condutor/Registador.

As bocas de fogo constituem a componente “armas” do Sistema de AC. Cada boca de fogo equipa uma Secção, formando uma Bateria de bocas de fogo (Btrbf) ao agrupar seis Secções (EME, 2012). O Obus M114A1 155/23mm é uma boca de fogo de origem americana, pesa 6 toneladas, atinge um alcance máximo de 14600 metros e uma elevação máxima de 1156 milésimos (EME, 1991). É designado de obus por ter um comprimento do tubo entre os 20 e os 30 calibres e a possibilidade de fazer tiro vertical (acima de 800 milésimos), M114 é a nomenclatura atribuída pela firma construtora, 155mm é o calibre do material (diâmetro interno do tubo) e 23 é o comprimento do tubo em calibres.

As bocas de fogo têm como missão a execução de fogos, disparando para isso uma munição de AC (Anexo E). Uma munição completa é o conjunto do projétil e dos meios destinados a provocar a sua propulsão, sendo que o projétil é o componente essencial da munição que vai provocar os efeitos desejados no objetivo (AM, 2016b). Estas compreendem vários tipos, sendo que para o Obus M114A1 155mm/23, é de carregamento separado, ou seja, os componentes principais (projétil, carga propulsora e escorva) são diferenciados e carregados na arma separadamente.

1.2.3 – Elementos Topográficos

Segundo o *U. S. Department of the Army* (2016), a Prancheta de Tiro é uma

representação gráfica de uma parte da superfície da Terra, usada para determinar distâncias e direções. Esta foi também definida pelo EME (2012) como sendo um dispositivo que tem como finalidade servir de suporte à determinação gráfica dos elementos topográficos de tiro, a partir da localização das unidades de tiro, dos objetivos e de outros elementos necessários.

Nos Grupo de Artilharia de Campanha (GAC) são utilizados dois tipos de prancheta, a Balística e a Topográfica (AM, 2016d). A partir desta última determinam-se os valores da Distância, Direção e Ângulo de Observação (Elementos Topográficos) pelo Operador Planimétrico e pelo Operador de Sítios.

Numa prancheta topográfica são representados graficamente os elementos, como por exemplo as posições da Bateria de Tiro, postos de observação, pontos de regulação, entre outros considerados importantes para a situação tática (AM, 2016d). Para ler a distância entre a Bateria de Tiro e um objetivo, os Operadores vão-se auxiliar de um Transferidor de Direção e Distâncias (TDD), de onde a leem e transmitem ao calculador. Este está graduado de 50 em 50 metros, sendo que o valor da distância é lido com aproximação aos 10 metros.

A Direção Topográfica (Anexo B) não é mais do que o ângulo formado entre a Direção de Vigilância (DV) (orientação na qual é apontada a Bateria após a pontaria inicial) e a Linha de Tiro (LT), medido a partir da DV no sentido em que estiver considerado no material a utilizar. Esta é de igual forma determinada com o TDD, que tem um setor de 1000 milésimos, graduado de 5 em 5 milésimos, sendo lido por estimativa com a aproximação de 1 milésimo (EME, 2012).

Por sua vez, o Ângulo de Observação (Anexo A) é o ângulo horizontal interior, formado no objetivo, pela interseção da LT com a Linha de Observação (LO) (AM, 2016d). Para determinar este ângulo, é necessário utilizar o TDD e uma Grade de Objetivos.

1.2.4 – Elementos de Tiro

Uma vez determinados os Elementos Topográficos, o calculador pode calcular os Elementos de Tiro. Tal como mencionado anteriormente, estes são caracterizados por serem os valores a introduzir na luneta das bocas de fogo e na munição (Direção, Elevação, Graduação de Espoleta (GEp) e Carga).

A carga consiste na quantidade de pólvora a utilizar nas munições de carregamento

separado e nas semi-encartuchadas (AM, 2016e). Esta tem como finalidade a produção de movimento do projétil, sendo essencialmente constituída por explosivo propulsor. A escolha desta é feita pelo Chefe de PCT, à exceção de missões de Tiro Vertical onde este supervisiona o Calculador que faz esta escolha (EME, 2012), e cabe aos operadores das secções de bocas de fogo (serventes) preparar a munição e carga escolhidas a serem utilizadas numa determinada missão de tiro. No caso do material deste trabalho, o Obus M114A1 155/23mm, existem dois tipos de cargas, as de saco verde – GB, numeradas de 1GB a 5GB, e as de saco branco – *White Bag* (WB), numeradas de 3WB a 7 WB.

As espoletas são componentes que vão provocar o acionamento do projétil na área do objetivo, podendo ser classificadas de acordo com a sua posição no projétil ou com o método de funcionamento (AM, 2016b). Quanto à posição podem ser de Fundo (*Base Detonating*) ou Ogiva (*Point Detonation*), e quanto ao funcionamento, podem ser de Percussão (P), Tempos (T) ou Aproximação (VT).

Quando são utilizados projéteis com espoleta de Tempos ou de Aproximação, é necessário calcular uma GEp de forma a provocar o funcionamento desta num determinado ponto na sua trajetória (EME, 2012). Esta é determinada nas Tábuas de Tiro para cada Alça respeitante a um determinado alcance.

Numa missão de tiro de fumos, quando é utilizado uma granada de fumos, a GEp é calculada da mesma maneira, à qual se subtrai 2 unidades de graduação de espoleta (u.g.e.) para obter o rebentamento da granada a uma altura aproximada de cem metros acima do solo (EME, 2012). Já numa missão de tiro vertical, não deverá ser utilizada espoleta de tempos devido à grande dispersão em altura de rebentamento, o que implica que na maioria das vezes neste tipo de missão não será calculada a GEp. Quando é realizado tiro iluminante, diz a doutrina que se usa a Distância Topográfica arredondada aos cem metros para determinar a GEp, nas respetivas tabelas das Tábuas de Tiro Numéricas (TTN), à qual se fazem ainda correções relacionadas com a diferença de cotas.

Já foi abordado previamente o conceito de Direção Topográfica. Contudo, a Direção com que se faz tiro é uma direção corrigida, que difere da anterior, sendo determinada pelo Calculador e transmitida às Secções de bocas de fogo pelo mesmo (EME, 2012). Esta direção corrigida resulta da soma da Correção Total em Direção (Corr Tot Dc) com a Direção Topográfica (1). Por sua vez, a Corr Tot Dc obtém-se somando algebricamente a Correção em Direção para a Tábua de Tiro Gráfica (TTG) (Corr Dc TTG), com a Correção de Derivação correspondente à Alça inicial, que corresponde à Distância Topográfica (2) (EME, 2012). Daqui surgem as seguintes duas fórmulas:

$$\text{Direção Corrigida} = \text{Corr Tot Dc} + \text{Direção Topográfica} \quad (1)$$

$$\text{Corr Tot Dc} = \text{Corr Dc TTG} + \text{Derivação} \quad (2)$$

Numa missão de tiro vertical, uma vez que a Derivação varia de modo significativo para pequenas variações no alcance, terá de se calcular a Correção de Direção para cada tiro (EME, 2012). No tiro com granada iluminante não se utiliza a Derivação para corrigir a Direção uma vez que a direção a utilizar depende do método de ataque. Dependendo deste último, poderão ser aplicadas correções de mais e/ou menos cinco vezes 100/R (determinado em função da distância), uma vez que subordinado ao método escolhido surgem vários pontos de iluminação.

Para cada carga, as Tábuas de Tiro definem qual a inclinação a dar ao tubo canhão para que se atinja um objetivo a uma determinada distância. A essa inclinação dá-se o nome de Alça, e define-se como o ângulo vertical formado pelo horizonte da boca de fogo com o prolongamento do eixo do tubo (LT) (EME, 2012).

Quando o objetivo ou o ponto de rebentamento desejado estiverem numa cota diferente da cota da Bateria passa a ser necessário determinar o Sítio. Este é por definição a soma algébrica do Ângulo de Sítio e da Correção Complementar do Ângulo de Sítio (CCAS) calculado para corrigir a diferença de cotas entre a Bateria e o Objetivo (AM, 2016e).

O Ângulo de Sítio é então o menor dos ângulos, lido num plano vertical, entre o horizonte da boca de fogo e a linha de sítio (EME, 2012).

Por sua vez, a CCAS é o ângulo que é algebricamente somado ao valor do Ângulo de Sítio, para corrigir a alteração da forma da trajetória (não rigidez da trajetória). Para a determinar, multiplica-se o valor do Ângulo de Sítio pelo valor da Correção Complementar Unitária do Ângulo de Sítio (CCUAS), também designado por Fator de Correção Complementar de Sítio (FCCS), indicado nas colunas 12 ou 13 da Tabela G das TTN.

O Sítio é como tal a soma algébrica do Ângulo de Sítio e da CCAS. Por conseguinte, a Elevação corresponde à soma algébrica do Sítio com a Alça (EME, 2012).

Para missões de tiro iluminante utilizando a TTN, a Distância Topográfica é arredondada aos cem metros, sendo adicionadas correções tal como é feito com a GEp (EME, 2012). Nesta técnica de tiro não se calcula o Sítio. Este poderá também não ser calculado em certas missões de tiro vertical. Numa missão de fumo imediato, a doutrina

nacional refere que quando a urgência o justificar poderá ser utilizado o sítio médio, de modo a ser mais rápido o cálculo.

1.2.5 – Tábuas de Tiro Numéricas

As TTN (Anexo G) são o documento base para a obtenção dos elementos balísticos, relativos a cada material. Estas são baseadas em parâmetros obtidos na execução de tiro real e, futuramente, corrigidos para as condições consideradas padrão (AM, 2016e). No entanto, como descrito pelo EME (2012), a determinação de Elementos de Tiro a partir das TTN é um processo que poderá levar algum tempo, devido a um maior número de operações analíticas a realizar. Esta demora é o que se pretende suplantar com o desenvolvimento de calculadoras de tiro, reduzindo deste modo o tempo que se levaria a realizar essas operações analíticas, garantindo uma obtenção dos Elementos de Tiro de uma forma mais rápida.

Para além das TTN em que a solução para obter os Elementos de Tiro consiste em interpolar condições pré-determinadas e posteriormente aplicar fatores de correção devido às condições de momento, existem outros métodos para a sua obtenção. Um método, que é empregue em calculadoras de tiro, utiliza cálculos balísticos através de modelos de trajetória para prever o ponto de impacto nas condições de momento, e utiliza algoritmos de procura de soluções de tiro que consigam cumprir a missão com a máxima eficiência e eficácia (Chusilp, Charubhun, & Ridluan, 2011).

1.3 – Balística Externa

A balística é descrita como sendo a ciência que estuda o movimento dos projéteis (McCoy, 2012). Esta pode ser dividida em três grandes ramos, sendo estes a balística interna¹, balística externa e balística terminal² (ou dos efeitos) (Carlucci & Jacobson, 2014). Poderá ainda ser incluída uma quarta categoria denominada de balística intermédia³.

Quando um projétil abandona o tubo-canhão, bem como deixa de sentir os efeitos dos gases propulsores que momentaneamente o rodeiam, este passa a estar no ramo da

¹ A balística interna lida com a interação da arma, projétil e carga propulsora até ao abandono do tubo-canhão por parte do projétil (Carlucci & Jacobson, 2014).

² A balística terminal cobre todos os aspetos de eventos que ocorrem quando o projétil atinge o objetivo (Carlucci & Jacobson, 2014).

³ A balística intermédia lida com o movimento inicial do projétil enquanto este abandona o tubo-canhão (Carlucci & Jacobson, 2014).

balística externa (Carlucci & Jacobson, 2014). Esta, compreende então o período em que o projétil abandona o tubo-canhão, até ao momento do impacto no objetivo. Nesse instante, consumaram-se os efeitos dos fatores da balística interna, sendo o projétil submetido à força da pressão da atmosfera, à força induzida pelo seu movimento de rotação e à força causada pela aceleração da gravidade (Carlucci & Jacobson, 2014).

1.3.1 – Modelos de Trajetória

Ao longo dos tempos, os modelos existentes para o estudo da trajetória dos projéteis foram evoluindo (Fonte-Boa, 2014). De um modo geral, este tipo de análise teve início com o caso mais simples, o Modelo *In-Vacuo*. Este assentava em duas premissas, primeiro que a massa do projétil está concentrada num ponto específico, e em segundo, que a única força a influenciar o projétil é a força gravítica (Carlucci & Jacobson, 2014). As principais características deste modelo ditam que, segundo Carlucci e Jacobson (2014), a trajetória é simétrica segundo uma linha vertical onde se atinge a altura máxima, que o alcance depende apenas da velocidade de saída do projétil e do ângulo de lançamento, que a velocidade mínima é atingida no pico de altura máxima e que a trajetória não depende da natureza do projétil.

A introdução do conceito de resistência resultante do facto de o meio envolvente ao projétil na sua trajetória ser constituído por ar, de acordo com Carlucci e Jacobson (2014), resultou numa modificação simplificativa ao modelo no vácuo. A evolução que se seguiu incorporou as alterações que os efeitos das rajadas de vento laterais ou longitudinais impõem num projétil (Carlucci & Jacobson, 2014). Mais tarde foi considerado o efeito de Coriolis, relacionado com o movimento de rotação da Terra, passando a denominar-se *Point Mass Model* (Carlucci & Jacobson, 2014).

Posteriormente surgiu outro modelo, conhecido por *Modified Point Mass Trajectory*. Este foi o primeiro método utilizado para simular trajetórias para a elaboração das tábuas de tiro. Ao contrário do *Point Mass Model* que não tem em conta qualquer dos efeitos causados pela rotação do projétil, este modelo passa a considerar dois dos seus efeitos principais, o equilíbrio de *Yaw*⁴ e a força de Magnus⁵.

Mais recentemente surgiu um modelo denominado de Modelo de Seis Graus de Liberdade (6-DOF)⁶. Este é um modelo mais complexo no que diz respeito à balística

⁴ “Ângulo entre o eixo do projétil e a direção do movimento” (Thuresson, 2015).

⁵ A força de Magnus ocorre “(...) quando um corpo de secção circular é imerso num campo de fluxo perpendicular ao seu eixo e é girado em torno do seu próprio eixo” (Carlucci & Jacobson, 2014, p. 199).

⁶ Da nomenclatura Inglesa *Six Degrees of Freedom Model*.

externa, resultando na solução mais precisa possível para a trajetória e comportamento de voo para um projétil em rotação ou não, desde que todas as forças aerodinâmicas, momentos lineares e condições iniciais sejam conhecidos com um elevado grau de precisão (McCoy, 2012).

Deste modo, por ser o modelo mais preciso no que toca à análise balística, o modelo 6-DOF é um dos modelos implementados no *software* de modelação e simulação balística PRODAS. Este programa foi desenvolvido para permitir avaliar o desempenho das características de munições, tendo como principal objetivo apoiar o projeto de projéteis e foguetes (Arrow Tech Associates, 2002).

1.3.1.1 – Six Degrees of Freedom Model

Uma vez que os projéteis são estruturas rígidas (não flexíveis), o modelo 6-DOF consegue descrever com rigor e precisão a sua posição e comportamento ao longo da trajetória (Carlucci & Jacobson, 2014). A Figura n.º 2 demonstra como o sistema de coordenadas é definido neste modelo.

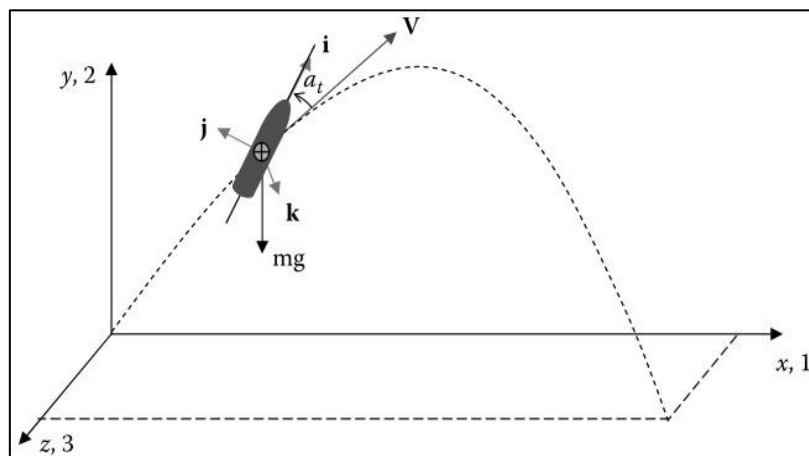


Figura n.º 2 – Sistema de Coordenadas para o modelo 6-DOF

Fonte: Carlucci e Jacobson (2014)

De acordo com Thuresson (2015), o modelo 6-DOF contém duas equações diferenciais vetoriais de movimento, influenciadas por forças aerodinâmicas, vento, gravidade, efeito de Coriolis e momentos lineares.

Existem então duas equações diferenciais relacionadas entre si, uma para o grau de liberdade linear e outra para o grau rotacional. Os caracteres apresentados a negrito representam vetores, e o Quadro n.º 1 apresenta os símbolos aqui utilizados.

(3)

$$\frac{d\mathbf{V}}{dt} = -\frac{\rho v S C_D}{2m} \mathbf{v} + \frac{\rho v S C_{L\alpha}}{2m} [\mathbf{v}^2 \mathbf{x} - (\mathbf{v} \cdot \mathbf{x}) \mathbf{v}] - \frac{\rho S d C_{Np\alpha}}{2m} \frac{I_y}{I_x} (\mathbf{h} \cdot \mathbf{x})(\mathbf{x} \cdot \mathbf{v}) + \mathbf{g} + \mathbf{\Lambda}$$

A equação (3) é a equação diferencial linear, que considera as forças de atrito⁷, de sustentação⁸, de Magnus, gravitacional e o efeito de Coriolis. Todas as forças foram divididas pela massa para obter acelerações.

(4)

$$\begin{aligned} \frac{d\mathbf{h}}{dt} = & -\frac{\rho v S d^2 C_{lp}}{2I_x} (\mathbf{h} \cdot \mathbf{x}) \mathbf{x} + \frac{\rho v S d C_{M\alpha}}{2I_y} (\mathbf{V} \cdot \mathbf{x}) + \frac{\rho S d^2 C_{M\alpha}}{2I_x} (\mathbf{h} \cdot \mathbf{x}) [\mathbf{v} - (\mathbf{v} \cdot \mathbf{x}) \mathbf{x}] \\ & + \frac{\rho S d^2 (C_{Mq} + C_{M\alpha})}{2I_y} [\mathbf{h} - (\mathbf{h} \cdot \mathbf{x}) \mathbf{x}] \end{aligned}$$

Já a equação (4) é a equação diferencial linear, que inclui vários momentos lineares que foram divididos com os seus correspondentes momentos de inércia para obter acelerações rotacionais.

O vetor de velocidades \mathbf{v} é definido como,

$$\mathbf{v} = \mathbf{V} - \mathbf{W} \quad (5)$$

e

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} \quad (6)$$

onde v_x , v_y e v_z são componentes do vetor de (5) segundo as três direções principais do referencial. Para a inicialização do cálculo, certas condições iniciais devem ser definidas.

O momento linear angular é dado por,

$$\mathbf{h} = \frac{I_x}{I_y} \mathbf{p} \cdot \mathbf{x} + \left(\mathbf{x} \cdot \frac{d\mathbf{x}}{dt} \right) \quad (7)$$

Caso se descarte o efeito dos desvios laterais, o momento linear angular inicial pode ser simplificado para,

⁷ “O Atrito num projétil é a força exercida sobre ele pelo meio através do qual este se movimenta, geralmente o ar, este é naturalmente oposto ao vetor de velocidade” (Carlucci & Jacobson, 2014, p. 195).

⁸ “A força de sustentação é definida como a força aerodinâmica que atua ortogonalmente ao vetor da velocidade” (Carlucci & Jacobson, 2014, p. 197).

$$h_{x0} = \frac{I_x}{I_y} p \quad (8)$$

resultando no vetor de momento linear angular inicial,

$$\mathbf{h}_0 = \left[\frac{I_x}{I_y} p, 0, 0 \right] \quad (9)$$

A condição inicial para o vetor velocidade é,

$$\mathbf{V}_0 = [V_{x0}, V_{y0}, V_{z0}] \quad (10)$$

A mudança de direção do vetor \mathbf{x} é definida como

$$\frac{d\mathbf{x}}{dt} = \mathbf{h} \cdot \mathbf{x} \quad (11)$$

A equação (11) dá a nova direção do vetor unitário do projétil

$$\mathbf{x}_{new} = \mathbf{x} + \frac{d\mathbf{x}}{dt} \cdot d_t \quad (12)$$

O ângulo de ataque para o modelo 6-DOF é definido como

$$\alpha_t = \sqrt{\alpha^2 + \beta^2} \quad (13)$$

Onde α e β são componentes do ângulo de ataque.

Quadro n.º 1 - Notações Matemáticas

V	Velocidade (m/s)
W	Velocidade do Vento (m/s)
v	Velocidade Total (m/s)
ρ	Densidade do meio (ar) (kg/m^3)
S	Área frontal do projétil (m^2)
m	Massa (kg)
v	Velocidade relativa do vento (m/s)
d	Diâmetro do projétil (m)
h	Momento linear angular ($\text{kg m}^2/\text{s}$)
x	Vetor unitário ao longo do eixo de simetria do projétil
g	Aceleração da gravidade (m/s^2)
I_x	Momento linear longitudinal de Inércia (kg m^2)
p	Velocidade de rotação longitudinal (rad/s)
C_D	Coeficiente da força de arrasto
$C_{L\alpha}$	Coeficiente da força de sustentação
$C_{Np\alpha}$	Coeficiente da força de Magnus
C_{Lp}	Coeficiente de amortecimento da rotação
$C_{M\alpha}$	Coeficiente do momento de sobre rolamento
C_{Mq}	Coeficiente de amortecimento da arfagem (<i>pitch</i>)

Fonte: Adaptado de Thuresson (2015)

1.4 – Programa de Tiro para o Obus M114A1 155mm/23

O trabalho subordinado ao tema “Programa de Tiro para o obus M114A1 155mm/23” é um RCFTIA, no mestrado de Ciências Militares, ministrado pela Academia Militar cujo autor foi Figueira (2018).

O objetivo geral do trabalho foi o de desenvolver uma calculadora de tiro para ser usada em contexto operacional e didático, bem como o de rever e criar conhecimento ao nível do desenvolvimento deste tipo de *software* para que futuramente fosse possível melhorar e adaptar as suas funcionalidades para o emprego operacional (Figueira, 2018). Os objetivos específicos, foram de encontro com o geral, sendo estes a realização de uma revisão bibliográfica dos processos para a elaboração de tabelas de tiro para projéteis de Artilharia e analisar os atuais computadores/calculadoras de tiro existentes, e por fim o de contribuir para o projeto FIREND⁹, a decorrer no Centro de Investigação, Desenvolvimento e Inovação da Academia Militar (CINAMIL) (Figueira, 2018).

Com vista à obtenção dos requisitos para criar esta calculadora, foram realizados

⁹ O projeto FIREND consiste no desenvolvimento de um projétil de artilharia que se destina a combater incêndios, principalmente em situações de grande adversidade (Fonte-Boa, 2014).

inquéritos por questionários, com a finalidade de perceber quais as funções ou necessidades que, os militares mais experientes neste processo de obtenção dos elementos de tiro, achavam necessárias numa calculadora de tiro para facilitar o trabalho do calculador, de maneira a acelerar e agilizar o processo (Figueira, 2018). Deste inquérito surgiram os aspetos que seriam necessários melhorar no processo de cálculo de tiro, sendo estes: rapidez de cálculo, dispor de todas as funcionalidades de cálculo de tiro, ser de fácil utilização (*User Friendly*), poder ser utilizado em qualquer dispositivo eletrónico, robustez e fiabilidade na construção, longa duração da bateria e interoperabilidade (Figueira, 2018). Com base nesses critérios foi então desenvolvida a calculadora.

Como tal, esse inquérito foi vocacionado para o Calculador e o Chefe de PCT que tivessem predominantemente desempenhado estas funções com o material a que se destina a calculadora, o Obus M114A1 155mm/23. Deste, foi verificado que o tempo médio para a obtenção dos Elementos de Tiro situa-se entre os três e cinco minutos, e uma vez que a funcionalidade considerada mais importante por parte dos questionados foi a rapidez de cálculo, podemos dizer que a calculadora, em comparação com o processo manual, melhorou de maneira considerável esta questão visto que obtém os Elementos de Tiro em segundos, isto porque o cálculo é automático e depende apenas da velocidade de inserção dos Elementos Topográficos por parte do calculador.

Figueira (2018) verificou então que a rapidez do cálculo no programa depende da velocidade de inserção dos Elementos Topográficos por parte do calculador. Por sua vez, podemos afirmar que está também dependente da velocidade com que os Operadores Planimétrico e de Sítios determinam esses elementos. Assim, o desenvolvimento de uma aplicação que fosse capaz de substituir a Prancheta de Tiro Topográfica e sua inclusão no programa iria permitir um aumento de velocidade ainda mais significativo na determinação dos Elementos de Tiro.

Uma das responsabilidades do Chefe de PCT é garantir a determinação precisa e oportuna dos elementos de tiro, assegurando ainda o preenchimento completo e preciso dos registos do PCT (Ferreira, 2008). Apuramos então que qualquer calculador tem a obrigatoriedade de saber preencher este registo para desempenhar a sua função. Dito isto, e visto que um dos requisitos da calculadora passava também por esta ser de fácil utilização (Figueira, 2018), a melhor maneira de este ser cumprido passaria então por dar a este programa a estrutura deste registo. Desta forma, o uso da calculadora tornar-se-ia muito mais intuitivo e de fácil utilização por parte de qualquer pessoa que desempenhe a função de calculador, sem que seja necessária nenhuma formação adicional para a sua

utilização.

Existem também no Exército Português outras calculadoras de tiro em utilização. Um deles é o BCS, um sistema automático que funciona em rede e que se situa no PCT da bateria (Figueira, 2018). Este sistema veio substituir o processo manual para a determinação dos Elementos de Tiro, contribuindo para a direção técnica do tiro determinando de forma automática estes mesmos elementos (Ferreira, 2008). Este sistema veio permitir que os Elementos de Tiro fossem adquiridos o mais rapidamente possível, tornando o processo de cálculo de tiro mais facilitado, permitindo uma resposta a um maior número de missões de tiro (Ferreira, 2008). No entanto, não podemos comparar este programa com a calculadora desenvolvida por Figueira (2018), uma vez que este sistema não pode ser utilizado para o Obus M114A1 155mm/23, pois não dispõe das respetivas TTN.

Outro sistema em utilização é o *Gunzen* Mk3, um computador portátil que foi projetado para realizar o cálculo automático dos Elementos de Tiro. Segundo Ferreira (2008), o calculador opera este computador de controlo de tiro, de forma a conferir os elementos de tiro obtidos no BCS, garantindo ao mesmo tempo o correto preenchimento dos registos de tiro. O modo de funcionamento destas calculadoras é diferente da calculadora em análise, uma vez que estas possuem ainda uma parte tática do tiro onde é possível inserir dados táticos de coordenação do campo de batalha (Figueira, 2018). No entanto, isto não acontece com a calculadora desenvolvida por Figueira (2018) uma vez que o objetivo não passou por programar uma parte tática para esta última, mas sim auxiliar o calculador a realizar os cálculos do tiro.

É de salientar ainda que, apesar desta calculadora possuir as funcionalidades necessárias para a obtenção dos Elementos de Tiro, não consegue determinar Elementos Topográficos, e tem apenas a possibilidade de executar tiro com a carga 1 GB. Para que possa ser implementada no Exército Português é necessário que seja programada para as restantes cargas GB e WB, os tipos de carga existentes para o Obus M114A1 155mm/23.

CAPÍTULO 2 – METODOLOGIA

2.1 – Tipo de Estudo

Neste capítulo pretende-se explicar o modelo de investigação adotado para o desenvolvimento e estruturação deste relatório. A metodologia adotada enquadra-se com o tipo de investigação a seguir, uma vez que teve por objetivo encontrar uma aplicação prática para os novos conhecimentos adquiridos no decurso da realização do trabalho.

De acordo com Santos e Lima (2019), para iniciar uma investigação científica aplicada é necessário ter em conta a replicabilidade, que pode ser conseguida através do desenvolvimento de diferentes estratégias. De acordo com a estratégia escolhida, vão surgir formas de raciocínio adotadas durante a investigação, como o raciocínio indutivo, dedutivo e hipotético-dedutivo (Santos & Lima, 2019).

Como referido anteriormente, o objetivo do presente estudo tem como base o desenvolvimento de uma calculadora de tiro para o Obus M114A1 155mm/23 que permita desenvolver de forma automática o trabalho do calculador do PCT. Deste modo, o programa de cálculo do tiro foi desenvolvido com base na obtenção de dados a partir da TTN para este material, tal como é feito no cálculo manual. Desta maneira, foi seguida uma abordagem ao raciocínio indutivo, que é um método responsável pela generalização, partindo de algo mais particular para uma questão mais geral, derivado de observações de casos de realidade mais concreta (Provdanov & Freitas, 2013).

Tendo em conta a natureza do problema a estudar numa investigação, deverá ser adotada uma determinada estratégia de investigação, que podem assumir-se como abordagens do tipo quantitativo, qualitativo ou misto (Santos & Lima, 2019). Este trabalho utiliza assim uma estratégia quantitativa, uma vez que procura na utilização de técnicas de verificação explicar os fenómenos estudados (Creswell, 2013 citado em Santos & Lima, 2019), o que foi acontecendo no desenvolvimento do programa, durante os testes realizados para comprovar o seu funcionamento, bem como na utilização do *software* de modelação e simulação balística PRODAS.

Importa ainda salientar que as técnicas e procedimentos adotados nos cálculos efetuados pelo programa vão de encontro ao que seria realizado no cálculo manual, tendo sempre em consideração o previsto pelos manuais de tiro.

2.2 – Modelo de Análise

O modelo de análise ou processo de investigação utilizado nesta investigação foi o processo de *product design* de engenharia. O que distingue os produtos ou sistemas criados por este método é o facto de terem sido pensados e criados para responder a necessidades humanas. Este ato criativo é então designado de *design* (Khandani, 2005). Por vezes o desenvolvimento destes produtos resulta da necessidade de alguém querer que um problema seja resolvido de forma mais célere ou eficiente. Este método difere de outros pela natureza do problema e da solução, uma vez que os modos de abordagem são diversos, existindo por sua vez várias soluções possíveis (Khandani, 2005).

Neste trabalho podemos observar o que foi descrito no parágrafo anterior. O desenvolvimento deste programa surge para obter um método mais rápido na solução do problema do tiro. A solução para este problema poderia ser obtida de inúmeras maneiras, desde cálculos balísticos a valores existentes das TTN, podendo a calculadora de tiro para este material específico ter surgido com diferentes funcionalidades e objetivos. Porém a solução alcançada com este programa foi de encontro a requisitos obtidos através de inquéritos por questionários, realizado por Figueira (2018) a militares no desempenho da função a que se destina o mesmo, de modo a que se adequasse às suas necessidades. A partir destes requisitos e acrescentado outras necessidades que derivaram da análise feita a esse trabalho, já referidos anteriormente, a calculadora criada vai de encontro ao necessário para auxiliar a função de calculador no PCT.

Problemas de design são geralmente definidos de forma mais vaga que os problemas de análise ou estudo de certos casos específicos (Khandani, 2005). Por esta mesma razão este trabalho não apresenta questão central, questões derivadas ou hipóteses de investigação. Isto decorre do facto de a solução para um problema de engenharia ter uma infinidade de soluções uma vez que existem inúmeras formas de atingir um objetivo.

De acordo com Khandani (2005), resolver problemas de *design* é normalmente um processo iterativo uma vez que à medida que a solução para um problema deste tipo vai evoluindo, vai sendo também continuamente refinada. Isto poderá dever-se ao facto de a solução desenvolvida ser insegura, demasiado cara ou que apenas não funcione. A atividade de *design* é então de natureza cíclica ou iterativa, ao invés da resolução de um problema de análise que é primeiramente sequencial (Khandani, 2005).

Este processo segue usualmente cinco passos básicos (Figura n.º 3) para encontrar uma solução ao problema de *design*. Os cinco passos deste processo são descritos da

seguinte forma por Khandani (2005):

1. Definir o problema;
2. Recolher informação pertinente;
3. Gerar múltiplas soluções;
4. Analisar e seleccionar uma solução;
5. Testar e implementar a solução.



Figura n.º 3 – Processo de *Design* de Engenharia

Fonte: Adaptado de Khandani (2005).

O primeiro passo é a definição do problema, que passa por definir os requisitos, funções e características que o produto deve apresentar. O problema foi desenvolver um programa de cálculo de tiro que pudesse auxiliar o calculador no desempenho das suas funções. Os requisitos foram definidos com base nos inquéritos realizados por Figueira (2018), surgindo outros da análise ao seu trabalho.

O segundo passo serve para recolher informação para o *design* do produto. A revisão de literatura apresentada no Capítulo 1 teve esse efeito, e como muitas vezes neste passo são analisados produtos semelhantes, a análise feita ao trabalho de Figueira (2018) no final desse capítulo teve repercussões neste ponto.

O próximo passo começa com gerar ideias para que possam solucionar o problema. Isto passou por definir as capacidades do programa de cálculo de tiro, ou seja, aquilo que a calculadora de tiro seria capaz de fazer, como por exemplo ser capaz de determinar Elementos Topográficos.

O quarto passo passa por analisar as soluções pensadas no passo anterior, e decidir qual a melhor maneira de implementar essas ideias.

Por fim, o último passo foi o desenvolvimento do primeiro protótipo da calculadora.

A natureza iterativa deste processo dita que este protótipo será continuamente testado e melhorado, voltando a repetir o ciclo inúmeras vezes até à última versão do programa de cálculo desenvolvido, solução final do problema.

CAPÍTULO 3 – MÉTODOS E MATERIAIS

3.1 – Métodos e Técnicas de Recolha de Dados

Neste capítulo serão abordados os métodos de investigação empregues na realização deste trabalho, bem como os métodos de recolha de dados. O método de observação direta, onde segundo Quivy e Campenhoudt (2005) o próprio observador procede diretamente à recolha das informações, foi utilizado aquando do teste do programa num *Live-Fire Exercise* (LFX). Por sua vez, o método experimental, que está orientado para o resultado e comprovação fiável dos dados (Santos & Lima, 2019), foi aplicado durante grande parte do trabalho, não só no teste do programa no *software* PRODAS, como também nos inúmeros testes realizados no desenvolvimento da calculadora de tiro, que advieram do quinto passo do processo de *design* de engenharia.

Os meios de aquisição de informação consistiram na análise documental de artigos, livros, revistas, teses e dissertações de mestrado e documentos do Exército, quer nacionais quer de outros países da *North Atlantic Treaty Organization* (NATO), mais especificamente dos Estados Unidos da América.

Com a análise documental foi pretendido compreender e analisar o tiro de AC, mais concretamente o problema do tiro, bem como as técnicas de tiro previstas no Regulamento de Tiro de AC. Para além disto foi também feito um estudo no âmbito da balística, que permitiu apresentar vários modelos de trajetória. Esta foi fundamental para o desenvolvimento do Estado da Arte, apresentado no Capítulo 1. Foi ainda realizada uma análise rigorosa ao trabalho de Figueira (2018), indo de encontro ao objetivo desta investigação, que permitiu recolher alguns dos requisitos para o desenvolvimento da calculadora de tiro.

Para além da análise documental, e com vista a testar e validar o programa de cálculo balístico desenvolvido, este foi utilizado num LFX preparado pela AM e destinado aos Cadetes do quarto ano do curso de Artilharia. Este foi realizado no polígono de tiro do Regimento de Artilharia N.º 5, em Vendas Novas, entre os dias 18 e 19 de fevereiro de 2020. Os fogos reais foram executados com o obus M119 105mm LG/30/m98. Apesar de este não ser o material para o qual se destina o programa, permitiu de igual modo testar as funcionalidades da calculadora, ao inserir no Excel algumas tabelas da TTN deste obus para as cargas que se previam ser utilizadas. Isto possibilitou

ainda que fossem obtidos Elementos de Tiro relacionados com o comportamento real de uma munição, que foram depois utilizados pelo programa PRODAS.

O *software* de modelação e simulação balística PRODAS foi utilizado (Figura n.º 4) neste trabalho recorrendo ao modelo 6-DOF, por ser o modelo mais preciso no que toca à análise balística. A utilização deste programa permite simular a realização de tiro com a calculadora desenvolvida sem o dispêndio de munições, permitindo avaliar as suas capacidades. Com este foi possível comparar o comportamento das munições utilizando os elementos obtidos no LFX com os elementos que foram obtidos na calculadora de tiro.

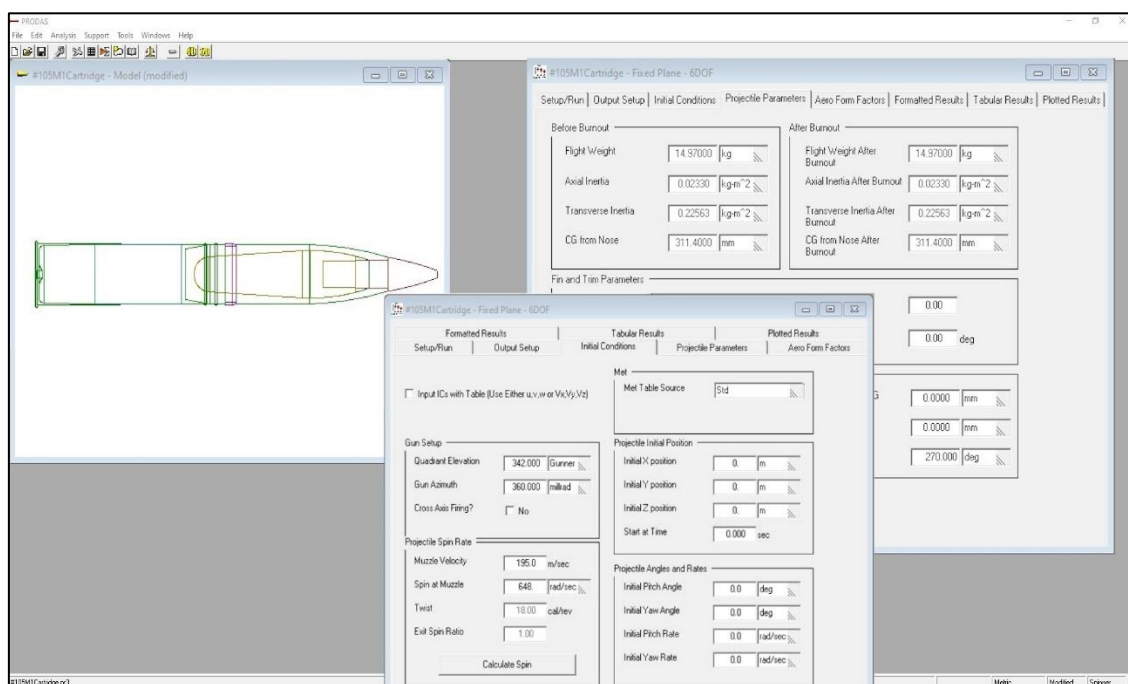


Figura n.º 4 – Utilização do *software* PRODAS

Fonte: Criado pelo Autor

Para a redação deste trabalho, foi seguida a Norma de Execução Permanente (NEP) considerada como referencial para a redação de trabalhos científicos na AM número 552/1.^a de 20 de janeiro de 2016.

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS

De acordo com o exposto no capítulo anterior, de forma a validar o programa de cálculo balístico e verificar o desempenho das suas funcionalidades, este foi utilizado num LFX realizado no polígono de tiro do Regimento de Artilharia N.º 5 em Vendas Novas. O exercício teve a duração de dois dias, sendo que no primeiro foram executadas três Missões de Tiro, e uma no segundo dia.

Durante a realização deste exercício, o tiro foi executado usando os Elementos de Tiro determinados pelo PCT, sendo que a calculadora ia acompanhando a missão de tiro determinando outros elementos. Os valores que aqui importam estudar são posteriormente apresentados em quadros, onde se encontram representados os valores de Distância, Direção e Elevação determinados quer manual quer automaticamente, sendo feita a sua comparação.

Por fim, utilizando os valores de velocidade inicial para a respetiva carga no *software* PRODAS e introduzindo os valores de Elevação e Direção determinados pela calculadora, são ainda apresentados gráficos que comparam os valores determinados da Distância, com os valores desta no PRODAS. Para obter este valor, foi utilizado um modelo de uma munição de 105mm (Figura n.º 5), uma vez que o material utilizado foi o obus M119 105mm LG/30/m98, e não o material a que se destina este trabalho, que teria outro modelo de munição. As simulações realizadas no PRODAS, foram assim feitas recorrendo ao modelo 6-DOF, pelas razões já anteriormente explanadas.

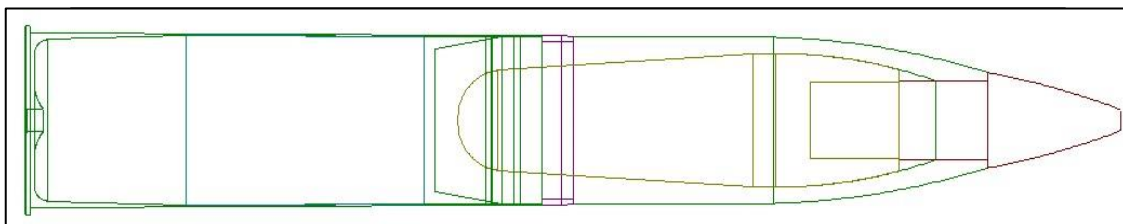


Figura n.º 5 – Projétil 105mm no PRODAS

Fonte: *Projectile Design/Analysis System (2020).*

4.1 – Missão de Tiro n.º 1

A Missão de Tiro n.º 1 (Figura n.º 6) foi realizada a partir da posição de coordenadas 47390 82370 131, com a Bateria apontada segundo o Rumo de Vigilância

Limpar		Painel Inicial		Registro de Tiro																																																																																																																																																															
Pedido de Tiro Ident Obsv ESS Reg X Ef Sup Sup lmd Btr A Obj Desvios Polar 				Cg TV FI N Carregar Mud Rumo Cota Btr 131 FCCS -0,154 Cota Obj 115 CCAS -1,1 ΔZ -16 Si -8 < Si -7,1												ΔFS																																																																																																																																																			
Coordenadas: E 48200 N 84500 C 115 Rumo 0560 Desvios: Rumo E/D Alg/Enc Ac/Ab Polar: Rumo Dist Ac/Ab <Si 				Descrição do Objetivo: Viat Rec Método de Ataque: P/2 Método de Tiro e Controle: 												/R 20/R Corr Alt Reb																																																																																																																																																			
				<Si/10												10mIlSi																																																																																																																																																			
Ordem de Tiro Un Ex Tiro BF Mec T Ba Corr Distribuição Proj Lt Cg Esp Met Tiro Ef Escalon In Tiro P/1																Corr Dc		E 10		Si		-8																																																																																																																																													
Comando de Tiro Inicial MT X Mec Tiro Btr Reg Dist 2280																Dc Top		6370		Alça		350																																																																																																																																													
Inst Espec Gr Lote 1 Ep GEp 																Dc		6360		Elev		342																																																																																																																																													
MPO A, P/1 < Obs (190) ex (19) Dur Traj 13 n/Ef P/1																Nº Tiros		(1)																																																																																																																																																	
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; font-size: small;"> <thead> <tr> <th>R, Mec Tr, Gr, Ep</th> <th>Corr Dc</th> <th>Corr Dist</th> <th>Corr Alt</th> <th>Cont, At, Rpt</th> <th>Mec Tr, Gr, Cg, Ep</th> <th>Corr Ep</th> <th>GEp</th> <th>Dc Top</th> <th>Corr Dc (E 10)</th> <th>Dc</th> <th>Dist Top</th> <th>Corr Alt Reb</th> <th>Si (-8)</th> <th>Alça</th> <th>Elev</th> <th>Gasta</th> <th>Tipo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>R 0560</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Rpt</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>6370 E 10</td> <td>(6360)</td> <td></td> <td>2280</td> <td></td> <td>-8</td> <td>350</td> <td>342</td> <td>(2)</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>D 20</td> <td>- 400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>6341 E 10</td> <td>(6331)</td> <td></td> <td>1880</td> <td></td> <td>-8</td> <td>275</td> <td>267</td> <td>(3)</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>D 20</td> <td>+ 200</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>6371 E 10</td> <td>(6361)</td> <td></td> <td>2070</td> <td></td> <td>-8</td> <td>309</td> <td>301</td> <td>(4)</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>+ 200</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>6388 E 10</td> <td>(6378)</td> <td></td> <td>2270</td> <td></td> <td>-8</td> <td>348</td> <td>340</td> <td>(5)</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>E 40</td> <td>+ 100</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>6378 E 10</td> <td>(6368)</td> <td></td> <td>2380</td> <td></td> <td>-8</td> <td>370</td> <td>362</td> <td>(6)</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>EF</td> <td>Btr P/1</td> <td></td> <td></td> <td>6378 E 10</td> <td>(6368)</td> <td></td> <td>2380</td> <td></td> <td>-8</td> <td>370</td> <td>362</td> <td>(8)</td> <td>HE/P</td> </tr> <tr> <td></td> <td>E 10</td> <td></td> <td></td> <td>FM</td> <td>FM</td> <td></td> <td></td> <td>6374 E 10</td> <td>(6364)</td> <td></td> <td>2380</td> <td></td> <td>-8</td> <td>370</td> <td>(362)</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>																R, Mec Tr, Gr, Ep	Corr Dc	Corr Dist	Corr Alt	Cont, At, Rpt	Mec Tr, Gr, Cg, Ep	Corr Ep	GEp	Dc Top	Corr Dc (E 10)	Dc	Dist Top	Corr Alt Reb	Si (-8)	Alça	Elev	Gasta	Tipo	R 0560				Rpt				6370 E 10	(6360)		2280		-8	350	342	(2)			D 20	- 400						6341 E 10	(6331)		1880		-8	275	267	(3)			D 20	+ 200						6371 E 10	(6361)		2070		-8	309	301	(4)				+ 200						6388 E 10	(6378)		2270		-8	348	340	(5)			E 40	+ 100						6378 E 10	(6368)		2380		-8	370	362	(6)						EF	Btr P/1			6378 E 10	(6368)		2380		-8	370	362	(8)	HE/P		E 10			FM	FM			6374 E 10	(6364)		2380		-8	370	(362)			Range K =		Fuze K =	
R, Mec Tr, Gr, Ep	Corr Dc	Corr Dist	Corr Alt	Cont, At, Rpt	Mec Tr, Gr, Cg, Ep	Corr Ep	GEp	Dc Top	Corr Dc (E 10)	Dc	Dist Top	Corr Alt Reb	Si (-8)	Alça	Elev	Gasta	Tipo																																																																																																																																																		
R 0560				Rpt				6370 E 10	(6360)		2280		-8	350	342	(2)																																																																																																																																																			
	D 20	- 400						6341 E 10	(6331)		1880		-8	275	267	(3)																																																																																																																																																			
	D 20	+ 200						6371 E 10	(6361)		2070		-8	309	301	(4)																																																																																																																																																			
		+ 200						6388 E 10	(6378)		2270		-8	348	340	(5)																																																																																																																																																			
	E 40	+ 100						6378 E 10	(6368)		2380		-8	370	362	(6)																																																																																																																																																			
				EF	Btr P/1			6378 E 10	(6368)		2380		-8	370	362	(8)	HE/P																																																																																																																																																		
	E 10			FM	FM			6374 E 10	(6364)		2380		-8	370	(362)																																																																																																																																																				
Mensagem de Aferição: Rel Danos Reg c/ PR1																																																																																																																																																																			
Utilizar: TTG Cg Lote Distância Alça GEp Corr Tot Dc Corr Dc TTG TV 																																																																																																																																																																			
Registro de Tiro (verso)																																																																																																																																																																			
Btr A GDH 181130FEV20 Obj Coord de Remarcação Cota de Remarcação 																																																																																																																																																																			

Fonte: Criado pelo Autor

26

Quadro n.º 2 - Missão de Tiro n.º 1

Missão de Tiro n.º 1									
Correções do OAv	Dist Man	Dist Progr	Dif	Dc Man	Dc Progr	Dif	Elev Man	Elev Progr	Dif
Pedido de Tiro	2280	2280	0	6365	6360	-5	342	342	0
Repita	2280	2280	0	6365	6360	-5	342	342	0
D20, - 400	1890	1880	-10	6340	6331	-9	269	267	-2
D 20, +200	2080	2070	-10	6362	6361	-1	303	301	-2
+100	2270	2270	0	6380	6378	-2	340	340	0
E10, +200	2380	2380	0	6375	6368	-7	362	362	0
Eficácia	2380	2380	0	6375	6368	-7	362	362	0

Fonte: Criado pelo Autor

Verificamos aqui que os valores que apresentam maior discrepância são os da Direção. Agora serão comparados os valores das distâncias obtidos, com os valores determinados no programa PRODAS (Figura n.º 7).

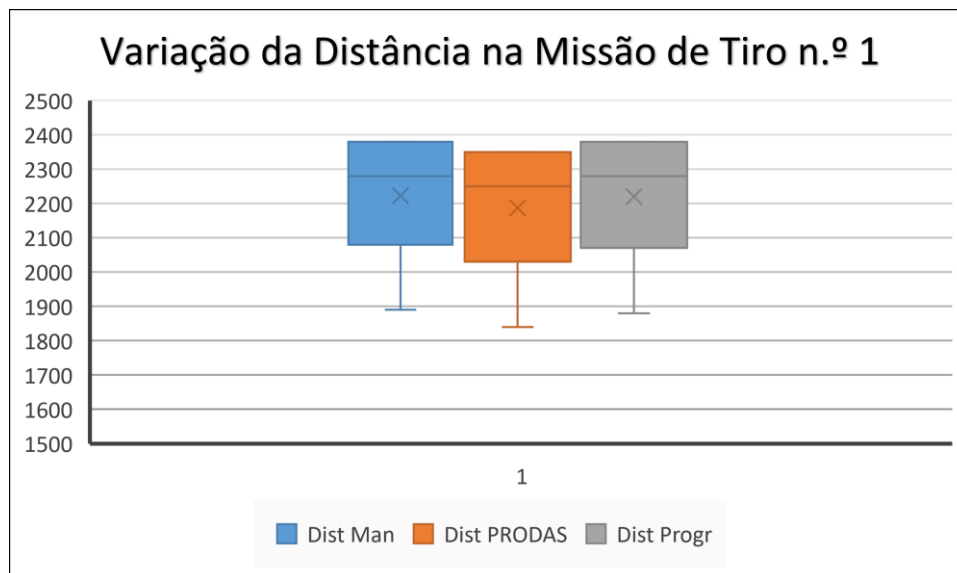


Figura n.º 7 – Variação da Distância na Missão de Tiro n.º 1

Fonte: Criado pelo Autor

Este gráfico demonstra que apesar dos valores da Distância determinados manual

Quadro n.º 3 - Missão de Tiro n.º 2

Missão de Tiro n.º 2									
Correções do OAv	Dist Man	Dist Progr	Dif	Dc Man	Dc Progr	Dif	Elev Man	Elev Progr	Dif
Pedido de Tiro	2550	2540	-10	6384	6397	+13	399	396	-3
E70	2560	2550	-10	6358	6369	+11	401	399	-2
E40	2580	2560	-20	6341	6353	+12	405	401	-4
+50, Eficácia	2640	2610	-30	6342	6357	+15	419	412	-7

Fonte: Criado pelo Autor

Neste quadro observamos que são os valores de Direção que apresentam uma significativa variação, existindo ainda uma maior diferença entre os valores de Distância. Na Figura n.º 9, comparamos os valores de Distância obtidos com os do programa PRODAS.

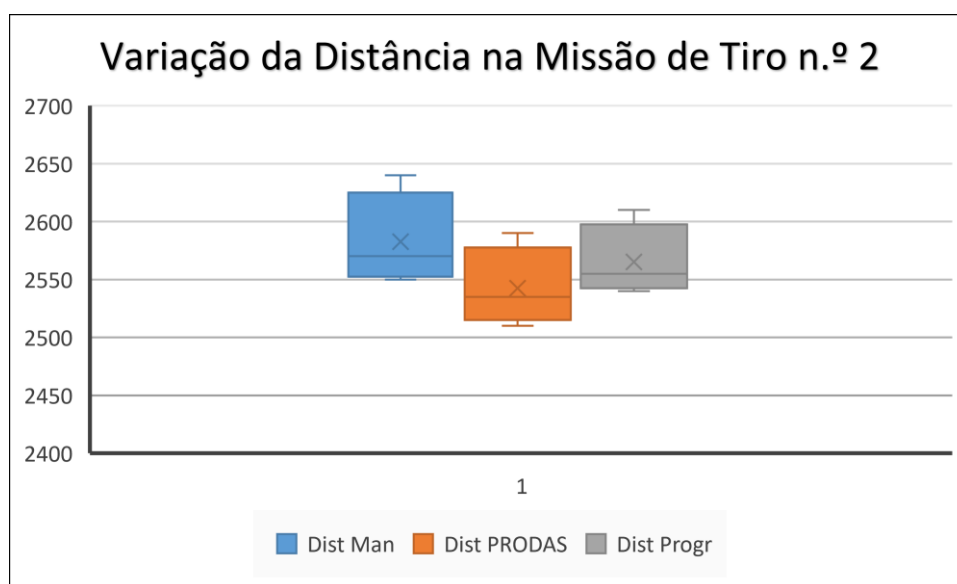


Figura n.º 9 – Variação da Distância na Missão de Tiro n.º 2

Fonte: Criado pelo Autor

Com base neste gráfico verificamos que os valores da Distância que mais se aproximam aos determinados no PRODAS são os obtidos através da calculadora de tiro.

4.3 – Missão de Tiro n.º 3

Continuando na mesma posição, para a Missão de Tiro n.º 3 (Figura n.º 10) foi executada outra regulação para um Pedido de Tiro por coordenadas do OAv. Nesta, o valor do Ângulo de Observação determinado foi de 220 milésimos, o mesmo para os dois métodos aqui estudados.

Limp		Painel Inicial		Registo de Tiro																																																																																																							
Pedido de Tiro Ident Obsv: <input type="text" value="ESS"/> Reg: <input checked="" type="checkbox"/> Ef: <input type="checkbox"/> Sup: <input type="checkbox"/> Sup Imd: <input type="checkbox"/> Btr: <input type="text" value="A"/> Obj: <input type="text"/> Desvios: <input type="text"/> Polar: <input type="text"/> Coordenadas: E <input type="text" value="48100"/> N <input type="text" value="84400"/> C <input type="text" value="110"/> Rumo: <input type="text"/> Desvios: Rumo: <input type="text"/> E: <input type="text"/> Alg: <input type="text"/> Ac/Ab: <input type="text"/> Polar: Rumo: <input type="text"/> Dist: <input type="text"/> Ac/Ab: <input type="text"/> <Si: <input type="text"/> Descrição do Objetivo: <input type="text" value="Sec Inf"/> Método de Ataque: <input type="text" value="P/2"/> Método de Tiro e Controlo: <input type="text" value="AMV"/>										Cg TV: <input type="text"/> FI: <input type="text"/> N Carregar: <input type="text"/> Mud Rum: <input type="text"/> Cota Btr: <input type="text" value="131"/> FCCS: <input type="text" value="-0,129"/> Cota Obj: <input type="text" value="110"/> CCAS: <input type="text" value="-1,3"/> ΔZ: <input type="text" value="-21"/> Si: <input type="text" value="-11"/> < Si: <input type="text" value="-9,9"/>					ΔFS: <input type="text"/> 100/R: <input type="text"/> /R: <input type="text"/> 20/R: <input type="text"/> Corr Alt Reb: <input type="text"/>																																																																																												
Ordem de Tiro Un Ex Tiro: <input type="text"/> Bf: <input type="text"/> Mec T: <input type="text"/> Ba Corr: <input type="text"/> Distribuição: <input type="text"/> Proj: <input type="text"/> Lt: <input type="text"/> Cg: <input type="text"/> Esp: <input type="text"/> Met Tiro Ef: <input type="text"/> Escalon: <input type="text"/> In Tiro: <input type="text"/> Comando de Tiro Inicial: MT <input checked="" type="checkbox"/> Mec Tiro: <input type="text" value="Btr"/> Reg: <input type="text"/> Inst Espec: <input type="text"/> Gr: <input type="text"/> Lote: <input type="text"/> Cg: <input type="text" value="1"/> Ep: <input type="text"/> GEp: <input type="text"/> MPO: <input type="text" value="A, P/1"/> < Obs: <input type="text" value="220"/> ex: <input type="text" value="18"/> Dur Traj: <input type="text"/> n/Ef: <input type="text" value="P/1"/> Nº Tiros: <input type="text" value="1"/>										Corr Dc: <input type="text" value="E 10"/> Si: <input type="text" value="-11"/> Dc Top: <input type="text" value="6343"/> Alça: <input type="text" value="324"/> Dc: <input type="text" value="6333"/> Elev: <input type="text" value="313"/> n/Ef: <input type="text" value="P/1"/>																																																																																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th>R, Mec Tr, Gr, Ep</th> <th>Corr Dc</th> <th>Corr Dist</th> <th>Corr Alt</th> <th>Cont, At, Rpt</th> <th>Mec Tr, Gr, Cg, Ep</th> <th>Corr Ep</th> <th>GEp</th> <th>Dc Top</th> <th>Corr Dc (E 10)</th> <th>Dc</th> <th>Dist Top</th> <th>Corr Alt Reb</th> <th>Si</th> <th>Alça</th> <th>Elev</th> <th>Gasta</th> <th>Tipo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>R 0560</td> <td>E 50</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>6320</td> <td>E 10</td> <td>6310</td> <td>2160</td> <td></td> <td>-11</td> <td>326</td> <td>315</td> <td>2</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>E 40</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>6301</td> <td>E 10</td> <td>6291</td> <td>2170</td> <td></td> <td>-11</td> <td>328</td> <td>317</td> <td>3</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>+ 200</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Ef Btr P/1</td> <td></td> <td></td> <td>6323</td> <td>E 10</td> <td>6313</td> <td>2370</td> <td></td> <td>-11</td> <td>368</td> <td>357</td> <td>4</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>- 50</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>FM FM</td> <td></td> <td></td> <td>6318</td> <td>E 10</td> <td>6308</td> <td>2320</td> <td></td> <td>-11</td> <td>358</td> <td>347</td> <td>6</td> <td>HE/P</td> </tr> </tbody> </table>															R, Mec Tr, Gr, Ep	Corr Dc	Corr Dist	Corr Alt	Cont, At, Rpt	Mec Tr, Gr, Cg, Ep	Corr Ep	GEp	Dc Top	Corr Dc (E 10)	Dc	Dist Top	Corr Alt Reb	Si	Alça	Elev	Gasta	Tipo	R 0560	E 50							6320	E 10	6310	2160		-11	326	315	2			E 40							6301	E 10	6291	2170		-11	328	317	3			+ 200				Ef Btr P/1			6323	E 10	6313	2370		-11	368	357	4			- 50				FM FM			6318	E 10	6308	2320		-11	358	347	6	HE/P	Range K = <input type="text"/> Fuze K = <input type="text"/>		
R, Mec Tr, Gr, Ep	Corr Dc	Corr Dist	Corr Alt	Cont, At, Rpt	Mec Tr, Gr, Cg, Ep	Corr Ep	GEp	Dc Top	Corr Dc (E 10)	Dc	Dist Top	Corr Alt Reb	Si	Alça	Elev	Gasta	Tipo																																																																																										
R 0560	E 50							6320	E 10	6310	2160		-11	326	315	2																																																																																											
	E 40							6301	E 10	6291	2170		-11	328	317	3																																																																																											
	+ 200				Ef Btr P/1			6323	E 10	6313	2370		-11	368	357	4																																																																																											
	- 50				FM FM			6318	E 10	6308	2320		-11	358	347	6	HE/P																																																																																										
Mensagem de Aferição: Rel Danos: <input type="text"/> Range K = <input type="text"/> Fuze K = <input type="text"/> Utilizar: <input type="text"/> Registo de Tiro (verso): <input type="text"/> TTG: <input type="text"/> Cg: <input type="text"/> Lote: <input type="text"/> Distância: <input type="text"/> Alça: <input type="text"/> GEp: <input type="text"/> Corr Tot Dc: <input type="text"/> Corr Dc TTG: <input type="text"/> TV: <input type="text"/>																																																																																																											
Btr: <input type="text" value="A"/> GDH: <input type="text" value="181640FEV20"/> Obj: <input type="text"/> Coord de Remarcação: <input type="text"/> Cota de Remarcação: <input type="text"/>																																																																																																											

Figura n.º 10 – Registo de Tiro da Missão de Tiro n.º 3

Fonte: Criado pelo Autor

Para cumprir esta missão foi também utilizada a Carga 1, e os valores obtidos pelos dois métodos encontram-se expostos no Quadro n.º 4.

Quadro n.º 4 - Missão de Tiro n.º 3

Missão de Tiro n.º 3									
Correções do OAv	Dist Man	Dist Progr	Dif	Dc Man	Dc Progr	Dif	Elev Man	Elev Progr	Dif
Pedido de Tiro	2150	2150	0	6338	6333	-5	313	313	0
E50	2160	2160	0	6310	6310	0	315	315	0
E40	2170	2170	0	6295	6291	-4	317	317	0
+200	2370	2370	0	6320	6313	-7	357	357	0
-50, Eficácia	2320	2320	0	6316	6308	-8	347	347	0

Fonte: Criado pelo Autor

Aqui apuramos que os valores para a Distância foram os mesmos para os dois métodos, o que levou a que os valores de Elevação também assim o fossem. No entanto existiu uma significativa discrepância nos valores de Direção. Passamos então a apresentar na Figura n.º 11 a comparação destes valores de Distância com os obtidos no PRODAS.

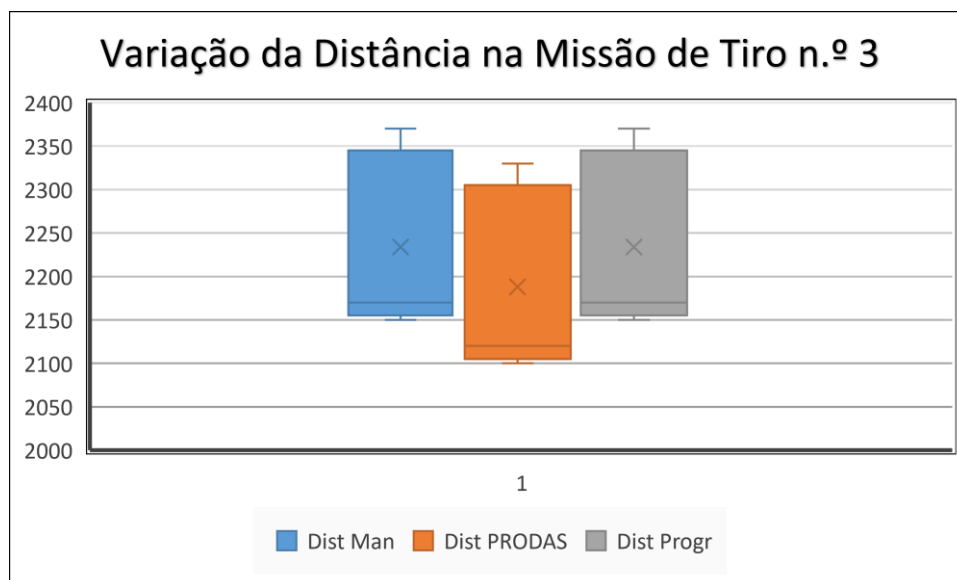


Figura n.º 11 – Variação da Distância na Missão de Tiro n.º 3

Fonte: Criado pelo Autor

Como os valores da Distância determinados foram iguais para os dois métodos, os

dois distam o mesmo dos valores obtidos no PRODAS.

4.3 – Missão de Tiro n.º 4

A Missão de Tiro n.º 4 (Figura n.º 12) foi executada no segundo dia do LFX. A Bateria ocupou a posição de coordenadas 47490 81450 143, orientada segundo o Rumo de Vigilância de 250 milésimos. O Pedido de Tiro do OAv consistiu numa regulação com o ponto de impacto localizado por coordenadas.

Limpar		Painel Inicial		Registo de Tiro									
Pedido de Tiro Ident Obsv <input type="text" value="E55"/> Reg <input checked="" type="checkbox"/> Ef <input type="checkbox"/> Sup <input type="checkbox"/> Sup lmd <input type="checkbox"/> Btr <input type="text" value="A"/> Obj <input type="text"/> Desvios <input type="text"/> Polar <input type="text"/>				Cg TV <input type="text"/> FI <input type="text"/> N Carregar <input type="text"/> Mud Rumor <input type="text"/> Cota Btr <input type="text" value="143"/> FCCS <input type="text" value="-0,223"/> Cota Obj <input type="text" value="110"/> CCAS <input type="text" value="-2,4"/> ΔZ <input type="text" value="-33"/> Si <input type="text" value="-13"/> < Si <input type="text" value="-10,8"/>				ΔFS 100/R /R 20/R Corr Alt Reb					
Coordenadas: E <input type="text" value="48100"/> N <input type="text" value="84500"/> C <input type="text" value="110"/> Rumor <input type="text"/> Desvios: Rumor <input type="text"/> E <input type="text"/> Alg <input type="text"/> Ac/Ab <input type="text"/> Polar: Rumor <input type="text"/> Dist <input type="text"/> Ac/Ab <input type="text"/> <Si <input type="text"/>													
Descrição do Objetivo: <input type="text" value="Sec Inf"/> Método de Ataque: <input type="text" value="P/2"/> Método de Tiro e Controlo: <input type="text" value="AMV"/>													
Ordem de Tiro Un Ex Tiro <input type="checkbox"/> BF <input type="checkbox"/> Mec T <input type="checkbox"/> Ba Corr <input type="checkbox"/> Distribuição <input type="checkbox"/> Pros <input type="checkbox"/> Lt <input type="checkbox"/> Cg <input type="checkbox"/> Esp <input type="checkbox"/> Met Tiro Ef <input type="checkbox"/> Escalon <input type="checkbox"/> In Tiro <input type="checkbox"/>													
Comando de Tiro Inicial MT <input checked="" type="checkbox"/> Mec Tiro <input type="checkbox"/> Btr <input type="text" value="Reg"/> Dist <input type="text" value="3110"/> Inst Espec <input type="text"/> Gr <input type="text"/> Lote <input type="text"/> Cg <input type="text" value="3"/> Ep <input type="text"/> GEp <input type="text"/> MPO <input type="text" value="A, P/1"/> < Obs <input type="text" value="(360)"/> ex <input type="text" value="(22)"/> Dur Traj <input type="text"/>				Corr Dc <input type="text" value="E 8"/> Si <input type="text" value="-13"/> Dc Top <input type="text" value="6351"/> Alça <input type="text" value="334"/> Dc <input type="text" value="6343"/> Elev <input type="text" value="321"/> n/Ef <input type="text" value="P/1"/> Nº Tiros <input type="text" value="1"/>									
R, Mec Tr, Gr, Ep R 0570 Corr Dc Corr Dist Corr Alt Cont, At, Rpt Mec Tr, Gr, Cg, Ep Corr Ep GEp Dc Top Corr Dc Dc Dist Top Corr Alt Reb Si Alça Elev Gasta Tipo													
D 80 Rpt 6351 E 8 (6343) 3110 -13 334 321 2 D 20 6376 E 8 6368 3080 -13 330 317 3 6382 E 8 6374 3080 -13 330 317 4 6359 E 8 6351 2890 -13 304 291 5 6371 E 8 6363 2980 -13 316 303 6 E 20 + 200 6387 E 8 6379 3180 -13 344 331 7 E 20 - 100 6370 E 8 6362 3090 -13 331 318 9													
Mensagem de Aferição: Rel Danos <input type="text"/> Range K = <input type="text"/> Fuze K = <input type="text"/> Utilizar: <input type="checkbox"/> Sec Inf suprimida Registo de Tiro (verso) TTG <input type="checkbox"/> Cg <input type="checkbox"/> Lote <input type="checkbox"/> Distância <input type="text"/> Alça <input type="text"/> GEp <input type="text"/> Corr Tot Dc <input type="text"/> Corr Dc TTG <input type="text"/> TV <input type="text"/>													
Btr <input type="text" value="A"/> GDH <input type="text" value="191205FEV20"/> Obj <input type="text"/> Coord de Remarcação <input type="text"/> Cota de Remarcação <input type="text"/>													

Figura n.º 12 – Registo de Tiro da Missão de Tiro n.º 4

Fonte: Criado pelo Autor

Esta Missão de Tiro foi cumprida utilizando a Carga 3, que tem uma velocidade inicial padronizada de 235 m/s. O Quadro n.º 5 mostra a diferença obtida entre os valores determinados pelos dois métodos distintos.

Quadro n.º 5 - Missão de Tiro n.º 4

Missão de Tiro n.º 4									
Correções do OAv	Dist Man	Dist Progr	Dif	Dc Man	Dc Progr	Dif	Elev Man	Elev Progr	Dif
Pedido de Tiro	3120	3110	-10	6346	6343	-3	324	321	-3
Repita	3120	3110	-10	6346	6343	-3	324	321	-3
D80	3080	3080	0	6378	6368	-10	317	317	0
D20	3070	3080	+10	6384	6374	-10	315	317	+2
-200	2890	2890	0	6352	6351	-1	291	291	0
+100	2980	2980	0	6373	6363	-10	303	303	0
E20, +200	3180	3180	0	6389	6379	-10	331	331	0
E20, -100, Ef	3080	3090	+10	6373	6362	-11	317	318	+1

Fonte: Criado pelo Autor

Daqui tiramos que os valores de Direção são os que apresentam maior variação, sendo que a discrepância para os valores de Distância não é significativa. Na Figura n.º 13, comparamos os valores de Distância obtidos com os do programa PRODAS, verificando que os valores obtidos variam o mesmo dos determinados no PRODAS.

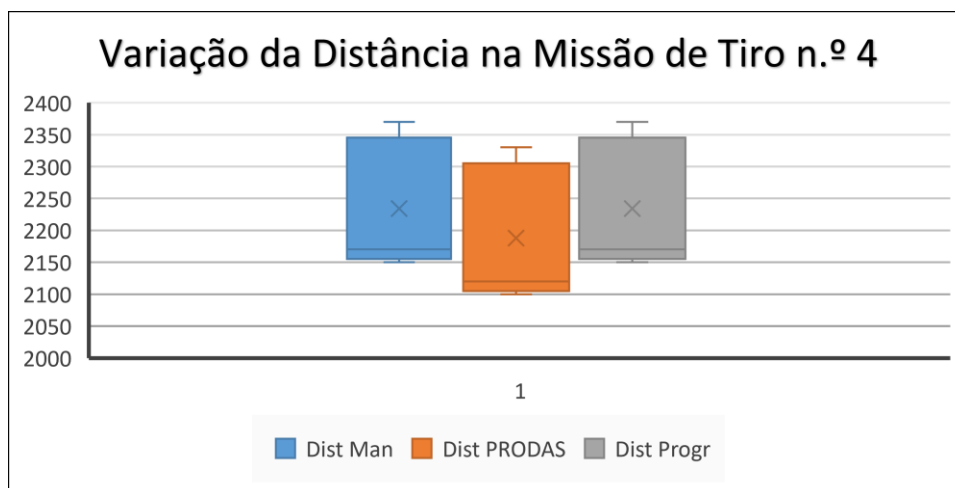


Figura n.º 13 – Variação da Distância na Missão de Tiro n.º 4

Fonte: Criado pelo Autor

CAPÍTULO 5 – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo será feita a análise aos dados recolhidos e explanados no capítulo anterior. Estes foram de encontro ao objetivo de validar o programa desenvolvido em ambiente virtual, com o *software* de modelação e simulação balística PRODAS, e ambiente operacional, em exercícios de fogos reais. Com isto foi pretendido aferir o desempenho da solução desenvolvida de forma a garantir que confere igual ou maior precisão dos elementos determinados pelo cálculo manual.

5.1 – Análise às Funcionalidades do Programa

Ao utilizar neste LFX o programa criado, pretendeu-se verificar o correto desempenho das suas funcionalidades, na função de calculador no PCT. Para tal foi inicialmente preenchida a ordem de tiro normalizada na calculadora, emitida pelo Chefe do PCT, devolvendo o comando de tiro normalizado automaticamente. Subsequentemente, apesar de não ser uma função do calculador, foram preenchidos os campos relativos aos dados topográficos com as coordenadas da Bateria e do OAv, para que fosse possível obter os Elementos Topográficos sem ter de esperar que estes fossem determinados pelos Operadores de Prancheta. Com isto o programa ficou pronto para iniciar as Missões de Tiro.

Posteriormente, aquando da receção do Pedido de Tiro enviado pelo OAv, o Registo de Tiro foi preenchido como seria num Registo de Tiro (Anexo F) manual. Verificamos em todas as missões de tiro que, após o preenchimento, os Elementos Topográficos foram automaticamente devolvidos nos campos corretos, sendo igualmente calculados os Elementos de Tiro. Verificamos assim que, se a Ordem de Tiro do Chefe do PCT obedecer à ordem de tiro normalizada, como no caso da Missão de Tiro n.º 2, o calculador não necessita de preencher os campos da ordem de tiro na calculadora, e tem o comando de tiro inicial mecanicamente determinado. Caso seja dada uma ordem de tiro diferente, basta preencher os campos do impresso para isso estipulados, tal como vimos nas outras Missões de Tiro. Em qualquer dos casos, verificamos que o calculador não necessita de esperar que lhe sejam transmitidos os Elementos determinados na prancheta, fazendo com que disponha instantaneamente dos Elementos de Tiro determinados, aumentando consideravelmente a velocidade da sua determinação. O mesmo é observado

com as correções subsequentes enviadas pelo OAv, substituindo assim o trabalho da prancheta topográfica.

Verificamos que todo o impresso na calculadora foi preenchido corretamente e da mesma forma que seria feito manualmente. Foi com isto garantido que os valores necessários ao cumprimento da missão de tiro eram corretamente retirados das tabelas correspondentes da TTN. Para além disso, verificou-se também que à semelhança do cálculo manual, os valores que não são necessários enviar, ao OAv ou às Secções, aparecem entre parênteses curvos, conforme doutrinariamente definido. O calculador ao clicar no número de tiros faz aparecer um círculo à volta do tiro correspondente, indicando que o projétil foi disparado. Ao registar a correção de “Repita”, apareceram corretamente os mesmos Elementos de Tiro anteriores, o registo da “Eficácia” gerou o Mecanismo de Tiro na Eficácia e o “Fim de Missão” fez aparecer o tipo de granada e espoleta disparadas no campo para isso destinado, tal como no cálculo manual. Ao clicar nesse mesmo campo foi exibido um símbolo de visto, indicando que estas foram descarregadas da lista de munições. Cumulativamente, apresentou também os campos a identificar a Bateria e o grupo data-hora, na parte final do impresso.

Assim, foi possível observar que a calculadora desenvolvida possui as funcionalidades necessárias ao correto preenchimento do Registo de Tiro por parte do calculador, garantido que este é preenchido do mesmo modo que seria no cálculo manual.

5.2 – Análise aos Resultados

Depois de verificar a execução correta das funcionalidades do programa passamos agora a analisar a sua precisão, comparando para esse fim os valores determinados no cálculo manual, na calculadora e no PRODAS, apresentados no capítulo anterior.

Num PCT é necessário verificar a concordância entre os vários valores determinados pelas pranchetas, ditando a doutrina que estes não podem variar mais do que 30 metros para a distância e 3 milésimos para a direção. Na Missão de Tiro n.º 3, os valores da distância determinados foram iguais para os dois métodos utilizados, sendo que nas outras, a máxima variação obtida foi de 30 metros, obtida na segunda missão. De acordo com os limites antes descritos, verificamos que os valores da distância determinados pela calculadora estiveram sempre em concordância com os da prancheta topográfica utilizada.

Para determinar os valores de distância no PRODAS, foi utilizado o valor da

Elevação, por ser o elemento usado pela boca de fogo no momento do tiro. Uma vez que a Elevação é a soma do Sítio com a Alça, e sendo que em todas as missões de tiro o valor do Sítio era negativo, seria de esperar que o valor da distância determinado no programa PRODAS fosse inferior aos valores determinados pelos outros dois métodos pois este não incluiu a diferença de cotas entre a Bateria e o objetivo. Observamos ainda que para as duas primeiras missões, os valores de distância determinados pela calculadora foram os que mais se aproximaram dos valores obtidos nas simulações com o PRODAS. Já nas últimas duas, os valores obtidos por ambos os métodos distaram o mesmo das simulações.

Com base nisto e sabendo que a distância no programa é determinada com recurso à fórmula matemática de obtenção da distância, apresentada no Capítulo 7 do presente trabalho, é correto afirmar que a calculadora desenvolvida apresenta maior precisão na determinação deste elemento do que a Prancheta Topográfica.

As diferenças nos valores obtidos devem-se principalmente a erros de precisão na prancheta. A falta de precisão na implantação da Bateria, das suas referências e do objetivo são fatores que podem ter causado esta diferença. Para os valores da distância, como referido no Enquadramento Teórico, o TDD está graduado de 50 em 50 metros, sendo que os valores que não coincidam com estas marcas são lidos por estimativa, o que não é muito preciso. A mesma estimativa é feita para os valores de direção, uma vez que o setor onde são lidos está graduado de 5 em 5 milésimos.

Estes erros podem também justificar a discrepância observada nos valores de direção. Ao contrário dos valores da distância, os valores de direção determinados pelo programa de cálculo de tiro nem sempre estiveram em concordância com os obtidos na prancheta topográfica. Outro fator advém do facto de que cada quadrado da grade de objetivos estar graduado de 50 em 50 metros. Isto faz com que uma correção de direita ou esquerda 20 metros, por exemplo, seja feita por estimativa, sendo então de imprecisa implantação. Como no programa desenvolvido estas correções são feitas com base nas fórmulas de transporte de rumos e coordenadas, estes valores são obtidos com maior precisão.

Já para os valores do Ângulo de Observação obtidos pelos dois métodos, estes tiveram uma diferença de 10 milésimos nas duas primeiras missões, e foram iguais para as outras duas. De acordo com o exposto no Capítulo 1, este é o ângulo formado pela interseção da LT com a LO, sendo mais concretamente a diferença entre estas duas linhas. Visto que esta diferença é determinada na calculadora desenvolvida subtraindo o valor

das duas linhas, é possível afirmar que o valor aqui é determinado com maior precisão do que na prancheta.

Deste modo, verificamos então que a determinação dos Elementos Topográficos na calculadora de tiro, por ser baseada em fórmulas matemáticas, é mais precisa do que a sua determinação pela Prancheta Topográfica. Assim, os erros relacionados com a estimativa destes valores e com a imprecisão de implantação são desta forma colmatados.

Por sua vez, uma maior precisão na determinação dos Elementos Topográficos garante naturalmente uma maior precisão na determinação dos Elementos de Tiro. Com o trabalho aqui realizado foi possível demonstrar que a rapidez e a precisão podem evoluir como um só, e não à custa um do outro. Com o programa de cálculo de tiro desenvolvido será possível ser mais preciso de uma forma mais rápida, surgindo assim uma solução que elimina o antagonismo entre estes dois termos.

CAPÍTULO 6 – PROGRAMA DE CÁLCULO BALÍSTICO NA ÓTICA DO UTILIZADOR

O programa de cálculo balístico desenvolvido foi realizado com recurso às TTN, pelo que foi necessário inserir todas as tabelas de todas as cargas no Excel. Apesar de existirem diversas linguagens em que é possível desenvolver o programa, a principal razão para a escolha deste *software* foi o facto de este estar disponível para todo o Exército Português.

Como tal, o programa foi desenvolvido tendo em vista a sua utilização em computador. Isto, aliado ao facto de um dos objetivos deste trabalho passar pela implementação desta calculadora no Exército, faz com que esta escolha garanta que o programa possa funcionar em qualquer unidade de Artilharia sem a necessidade de recorrer a programas adicionais. Este foi então desenvolvido em Excel recorrendo predominantemente às funções do mesmo, complementando estas com o *Visual Basic for Applications* (VBA).

A solução final do programa de cálculo de tiro está dividido por separadores utilizando uma interface computacional o mais semelhante possível com os impressos utilizados pelo calculador, de maneira a que qualquer militar preparado para desempenhar esta função esteja familiarizado com o programa, facilitando a sua utilização. Estes separadores são todos acessíveis a partir do painel principal da calculadora (Apêndice I), sendo que em todos eles é possível voltar ao menu principal. Para além disso existe também um botão de limpar, uma vez que o Excel não elimina automaticamente os dados, para que seja possível eliminar todos os dados inseridos pelo utilizador depois de completar a missão de tiro. Antes de o fazer, existe também um botão que serve para imprimir a missão de tiro, em formato *Portable Document Format* (pdf), para que seja possível visualizar posteriormente se necessário, por questões de segurança.

O utilizador interage desta forma com o programa de duas formas básicas, primeiro nas células que normalmente preencheria no cálculo manual, e por outro lado nos botões para navegar dentro da calculadora e para limpar os impressos. Esta interação nas diferentes técnicas de tiro será explanada neste capítulo.

6.1 – Dados Iniciais

A primeira tela que o utilizador deverá escolher é a denominada de Dados Iniciais,

a partir do botão no painel inicial. Nesta o calculador preenche primeiro as células dos Dados Topográficos (Apêndice B), onde regista as coordenadas (Estes, Nortes e Cota) da Bateria, bem como o seu Rumo de Vigilância, dos OAv se souber a sua localização e dos PR se existirem. Neste separador é realizado o trabalho que seria executado numa Prancheta Topográfica, ao representar a localização dos pontos necessários para o cumprimento da missão de tiro. É a partir daqui que serão calculados os Elementos Topográficos apresentados no Capítulo 1 deste trabalho.

Após isso, o Chefe de PCT irá decidir qual será a Ordem de Tiro Normalizada, que o calculador escreve no campo para isso destinado (Apêndice D), surgindo automaticamente o Comando de Tiro Normalizado que este deverá enviar às Secções. O utilizador redige também aqui o tipo de munições disponíveis bem como o lote associado, para que a calculadora possa associar estes dois, e ainda o Meteograma (Apêndice C) se este existir e for válido.

Neste separador existe também um espaço para os valores das correções de posição (Apêndice A) que será preenchido automaticamente depois do calculador fazer estes cálculos na calculadora. Este espaço foi criado com o mesmo aspeto que o existente no verso do Registo de Comandante de Secção (Anexo J), para o calculador enviar aos respetivos Comandantes de Secção.

6.2 – Objetivos Planeados

No separador Objetivos Planeados (Apêndice H) o calculador poderá registar as coordenadas de um ponto para o qual está previsto fazer uma missão de tiro. Para isso basta escrever a designação desse objetivo e escrever as coordenadas nas células correspondentes.

6.3 – Ajuda

Nesta tela de Ajuda estão presentes exemplos dos vários impressos preenchidos no programa para as diferentes técnicas de tiro para que o calculador possa consultar, no caso de surgir alguma dúvida quanto ao preenchimento de algum dos impressos da calculadora de tiro.

6.4 – Registo de Tiro

Para o separador do Registo de Tiro (Apêndice J) foi criada uma interface

computacional o mais aproximada possível ao de um Registo de Tiro usado pelo calculador no cálculo manual. Neste separador é possível executar missões de Tiro de Área, Tiro de Fumos, Tiro Vertical, Tiro Iluminante e a utilizar Correções Especiais, estas últimas calculadas no separador Registo de Tiro (verso) (Apêndice L), para o qual existe um botão que permite abrir esse separador.

A este foram acrescentados alguns aspetos de forma a facilitar a sua utilização. Na parte inicial do Pedido de Tiro, onde o calculador regista o pedido de tiro do OAv, existe uma célula onde o utilizador deve escrever a identificação da Bateria que vai executar a missão de tiro, de forma a permitir que o programa desenvolvido possa também ser utilizado no PCT do GAC. Existe também uma caixa onde o calculador redige a ordem de tiro decidida pelo Chefe de PCT. Existe ainda um espaço dedicado exclusivamente ao cálculo do Sítio que é feito de forma automática. Na parte do Registo de Tiro dedicado às correções subsequentes do OAv, uma vez que no Impresso do Observador existe uma coluna a mais do que no Registo de Tiro, foi acrescentada uma quinta coluna dedicada à escrita das correções de “Repita”, “Eficiência” e “Fim de Missão”, bem como uma célula para registar o relatório de danos. Foi igualmente adicionado um espaço para a escolha da carga pelo calculador no caso de missões de Tiro Vertical, e outra para o caso de ser utilizada uma Mensagem de Aferição, onde o calculador indica que esta vai ser utilizada e qual a Bateria que obteve esses elementos aparecendo a mesma no impresso. No caso de Tiro de Fumos existe um espaço para o calculador escrever as informações que devem constar num Pedido de Tiro deste tipo de missão, segundo o qual são determinados os elementos que o PCT necessita de calcular nestas missões de forma automática. Por fim, no caso de Tiro Iluminante surgirá também um campo para seleccionar qual o método de ataque escolhido pelo Chefe de PCT.

Como já foi referido no trabalho, o calculador necessita dos Elementos Topográficos para determinar os Elementos de Tiro. Na calculadora desenvolvida, estes primeiros são determinados de forma automática quando o utilizador insere o Pedido de Tiro do OAv. Por sua vez são também calculados os Elementos de Tiro de acordo com a ordem de tiro normalizada, podendo ser alterados ou não, consoante a ordem de tiro do Chefe de PCT. A missão de tiro é seguida de igual modo ao que aconteceria no cálculo manual, sendo os Elementos Topográficos e de Tiro resultantes das correções subsequentes do OAv determinados automaticamente.

Como seria feito manualmente, depois da boca de fogo executar o tiro, o calculador desenha um círculo à volta do número de tiros, atestando o consumo das

munições. Aqui, para desenhar esse círculo, basta clicar na célula corresponde a esse tiro. Quando é emitido o “Fim de Missão”, aparece de forma automática o tipo de granada e espoleta utilizadas, que quando clicado faz aparecer o símbolo de visto significando que o número de munições gastas foi descarregado do controlo de munições. É também preenchida automaticamente a parte final do Impresso onde o calculador colocaria a Bateria, o Grupo Data Hora e o objetivo, caso tenha sido feito um Pedido de Tiro para um objetivo planeado. Para calcular a duração do trajeto caso seja necessário, ao calculador basta clicar na célula correspondente à mesma.

É ainda de salientar que, como foi referido no Capítulo 1, numa missão de fumo imediato a doutrina nacional refere que quando a urgência o justificar poderá ser utilizado o sítio médio, de modo a ser mais rápido o cálculo. No entanto, como o cálculo do Sítio na calculadora é feito automaticamente, a rapidez do cálculo não é influenciada uma vez que este é logo determinado com o Pedido de Tiro. Deste modo não se torna necessário o uso do sítio médio, pelo que é sempre determinado o Sítio exato.

Foi assim conseguido um programa que, por determinar os Elementos Topográficos de forma automática, a rapidez em determinar os Elementos de Tiro depende apenas da velocidade com que o calculador regista o Pedido de Tiro do OAv, dependendo depois apenas da Ordem de Tiro do Chefe de PCT.

6.5 – Registo de Tiro Preparação Experimental

A tela do Registo de Tiro Preparação Experimental (Apêndice K) é semelhante à do Registo de Tiro, diferindo em alguns aspetos passados a apresentar. Primeiro que tudo, o calculador terá de seleccionar se é pretendido que se realize uma Regulação de Precisão ABCA (*American, British, Canadian, Australian*) ou uma Regulação do Ponto Médio de Percussões ou Ponto Médio de Tempos (PMP/PMT), num campo específico definido no programa.

Para uma Regulação ABCA, após ter seleccionado essa célula irá preencher nos campos específicos o PR para o qual esta será efetuada, se será utilizada espoleta de Percussão, Tempos ou ambas, qual a Bateria que vai cumprir a missão e qual o OAv que irá observar. Após isso, irá escrever no método de ataque o rumo da LO transmitido pelo OAv. Depois, preenche na Ordem de Tiro qual a boca de fogo que irá regular e com que carga será feita a regulação, conforme definido pelo Chefe de PCT. Os Elementos de Tiro são deste modo automaticamente calculados. Finalmente, preenche as correções enviadas

pelo OAv nos campos para isso destinados até concluir a missão de tiro, aparecendo automaticamente os círculos nos Elementos de Regulação. A correção para registrar como um PR não deverá ser aqui registrada, uma vez que isto só acontecerá no fim da missão. Foi aqui criado um botão que permite abrir o separador com o verso do impresso do Registo de Tiro para obter os elementos de aferição, processo que será explicado no próximo subcapítulo.

Relativamente à execução de uma Regulação PMP/PMT, o calculador selecionará para isso qual a Regulação a executar, inserindo também as coordenadas do ponto (incluindo a cota) e a Bateria que vai cumprir a missão, obtendo assim os Elementos de Tiro a enviar à boca de fogo que irá executar a regulação. Continuará com a missão de tiro introduzindo as correções necessárias até ao final da mesma. Este tipo de missão é realizada em simultâneo com o Impresso de PMP/PMT (Apêndice F), existindo um botão que permite navegar para o mesmo. A utilização deste impresso será apresentada mais à frente.

6.6 – Registo de Tiro (verso)

A estrutura visual do separador Registo de Tiro (verso) foi criada de forma a que se assemelhasse ao verso do Registo de Tiro (Anexo I) utilizado no cálculo manual. Neste as células preencher pelo calculador estão identificadas a laranja.

Tendo sido concluída a Regulação ABCA, o utilizador precisará apenas de introduzir os afastamentos longitudinal e lateral da boca de fogo que realizou a mesma, valores que deverão ter sido transmitidos ao Chefe de PCT pelo comandante de Bateria de Tiro nos campos para isso reservados. Feito isto, os Elementos de Aferição são determinados automaticamente.

Nesta tela poderão também ser calculadas correções de posição e correções especiais. Para o caso das correções de posição, o calculador seleciona o campo respetivo no impresso, selecionando depois a Carga e escrevendo a Direção e Distância do Centro, sendo determinados automaticamente os limites de validade. Para preencher o restante impresso, o calculador deverá introduzir os valores por ele determinados no M10/17 nas colunas para o seu efeito, bem como a diferença de velocidades iniciais das bocas de fogo, caso existam. A partir daqui os cálculos são feitos de forma automática, cabendo ao utilizador clicar no botão “Correções de Posição” de forma a que os valores aqui determinados sejam copiados para a parte a que se destinam no separador Dados Iniciais,

apresentado anteriormente. Finalmente, procedendo do mesmo modo para os outros sectores e clicando no mesmo botão, terá as Correções de Posição da Bateria para todos os sectores na tela dos Dados Iniciais.

Já para serem calculadas correções especiais, o calculador seleciona o campo respetivo no impresso, registando a Direção e Distância do Centro, utilizando o M10/17 determina a correção lateral e afastamento em alcance, e se existirem, introduz a diferença de velocidades iniciais. O restante processo é feito de forma automática, sendo calculadas as correções especiais.

Existe ainda um botão que permite ao utilizador abrir a tela do Registo de Tiro, para que depois de calcular as correções especiais, as possa utilizar automaticamente numa missão de tiro.

6.7 – Impresso PMP-PMT

Tal como foi apresentado, o separador Impresso PMP-PMT é muito semelhante ao impresso utilizado no cálculo manual (Anexo C). Neste, o calculador necessita apenas de registar qual o tipo de regulação, e identificar os dois OAv que irão observar a mesma. Após isso, regista as observações feitas pelos OAv, sendo determinados automaticamente os Elementos de Aferição.

6.8 – Impresso Preparação Teórica Concorrente e Subsequente

Para esta técnica de Tiro, o Impresso da Preparação Teórica (Apêndice G), com a mesma estrutura que o impresso empregue no cálculo manual (Anexo F), está dividido em dois separadores, uma para a Preparação Teórica Concorrente e outro para a Subsequente.

O modo de funcionamento dos dois é semelhante. O calculador primeiro preenche uma pequena tabela com elementos essenciais para o cálculo, identificando a Bateria para qual vai ser calculada a preparação e o Ponto de Regulação utilizado na Regulação de Precisão. Feito isto, e uma vez que o Meteograma estará previamente preenchido no separador Dados Iniciais, como já referido, são calculadas automaticamente as correções residuais para a Preparação Teórica Concorrente, e as correções totais para a Subsequente.

CAPÍTULO 7 – PROGRAMAÇÃO DO PROGRAMA DE CÁLCULO BALÍSTICO

Neste capítulo será explicado o código escrito, quer recorrendo às próprias funções do Excel, quer em VBA, das funcionalidades mais importantes da calculadora de tiro desenvolvida. Os primeiros passos na construção do programa passaram por desenhar a estrutura visual dos separadores para que fosse semelhante aos impressos utilizados no cálculo manual, e ainda inserir todas as tabelas de todas as cargas da TTN do Obus M114A1 155mm/23.

7.1 – Determinar Elementos Topográficos

Uma vez que para calcular os Elementos de Tiro são necessários Elementos Topográficos, começou-se primeiro por desenvolver uma forma de adquirir estes últimos automaticamente. No entanto, não existe doutrina que refira alguma maneira de os obter através de cálculos em substituição à prancheta. Como tal, a solução criada baseou-se em fórmulas de transporte de rumos e coordenadas de forma a que, a partir das três maneiras que os OAv podem fazer um Pedido de Tiro, seja possível determinar estes elementos com igual ou maior precisão que os determinados manualmente na prancheta topográfica.

Para conseguirmos calcular um rumo entre duas coordenadas retangulares, o primeiro passo passará por calcular a diferença de Meridianos e Paralelos (Estes e Nortes). O segundo passo é calcular o arco tangente da divisão dessa diferença ($\frac{\Delta M}{\Delta P}$), e por fim enquadrar o rumo consoante o quadrante certo. O código seguinte demonstra como este procedimento é feito em Excel.

$$R_{AB} = \text{ABS}(\text{GRAUS}(\text{ATAN}((J2)))) \times 16/0,9$$

A função (GRAUS) servirá para converter para graus o valor do arco tangente de $\frac{\Delta M}{\Delta P} (\text{ATAN}((J2)))$, isto porque a função (ABS) calcula valores em graus. Por sua vez, esta função é utilizada pois o valor de um ângulo é sempre positivo. Após isso, o valor calculado é convertido em milésimos ($\times 16/0,9$), sendo que 16 milésimos correspondem a 0,9 graus. O próximo passo será enquadrar o rumo ao quadrante a que pertence, de acordo com o quadro de variação do sinal da tangente. O código seguinte demonstra como isso é feito no programa.

SE(E(H2 >0; I2 >0); L2; SE(E(H2 >0; I2 <0); 3200 - L2; SE(E(H2 <0; I2 <0); 2300 + L2; SE(E(H2 <0; I2 >0); 6400 - L2;)))
--

Após obtido o rumo, falta ainda determinar a distância entre as duas coordenadas, bem como o cosseno e o seno do rumo, para que seja possível utilizar a fórmula do transporte de coordenadas, para os Estes e para os Nortes. O código escrito em Excel para calcular a distância será apresentado de seguida.

Distância = RAIZQ((E2-B2)^2 + (F2-C2)^2)
--

Para calcular o seno e cosseno do rumo entre as duas coordenadas, é utilizado a função seno e cosseno, do Excel, respetivamente, apresentadas de seguida.

Sen R _{AB} = SEN(RADIANOS((B27/16) * 0,9)); Cos R _{AB} = COS (RADIANOS((B27/16) * 0,9));

É ainda necessário converter o valor do rumo para radianos, uma vez que a função seno/cosseno em Excel funciona em radianos, utilizando para esse efeito a função radianos do Excel (RADIANOS). Esta função funciona para valores em graus, pelo que é essencial converter o valor de milésimos para graus, como já foi descrito anteriormente.

Num pedido de tiro com localização do objetivo por coordenadas, para determinar o rumo da Bateria para o objetivo vamos primeiro procurar as coordenadas e o Rumo de Vigilância da Bateria que irá executar o tiro, através da função PROCV do Excel. Esta funciona ao procurar numa matriz definida ('Dados Iniciais'!C3:N13) o equivalente à Bateria escolhida e devolver o valor da coluna do valor escolhido. Para não procurar intervalos, ou seja, procurar o valor exato, temos escrito no código FALSO no campo corresponde a essa procura.

PROCV('Registo de Tiro'!D1; 'Dados Iniciais'!C3:N13;3;FALSO)
--

Seguidamente o programa determina o rumo da bateria para o objetivo como visto anteriormente, utilizando as coordenadas do objetivo no Pedido de Tiro.

Para determinar a Direção Topográfica, o programa verifica se o valor do rumo é igual ou superior ao do Rumo de Vigilância (Rumo01>=RumoV01). Se sim, devolve a diferença entre o rumo determinado e o Rumo de Vigilância (Rumo01-RumoV01). Caso contrário somar 6400 ao mesmo valor (cresce para a direita, decresce para a esquerda), arredondado ao inteiro (0 casas decimais), utilizando a função ARRED.

ARRED(SE(Rumo01>=RumoV01; Rumo01-RumoV01;6400 + Rumo01-RumoV01);0)

Para devolver o valor da Distância arredondada aos 10 metros¹⁰, o programa verifica se a diferença entre a distância arredondada aos 10 metros superiores e o valor da distância é inferior a 5 (SE(ARRED.EXCESSO(Dist01;10)-Dist01<=5). Se sim, o valor está mais próximo dos 10 metros superiores (ARRED.EXCESSO(Dist01;10)), caso contrário está mais próximo dos 10 metros inferiores (ARRED.DEFEITO(Dist01;10)).

SE(ARRED.EXCESSO(Dist01;10)-Dist01<=5;ARRED.EXCESSO(Dist01;10);
ARRED.DEFEITO(Dist01;10))

Este arredondamento é aqui realizado para que sejam seguidos os procedimentos efetuados no cálculo manual.

Num pedido de tiro por desvios métricos, o programa procede do mesmo modo para procurar as coordenadas da Bateria e de um PR, alterando apenas o modo de obter as coordenadas do objetivo. Sendo preciso determiná-las, a calculadora procede ao transporte de coordenadas a partir das coordenadas conhecidas do PR escolhido.

Para tal, o programa calcula o seno e o cosseno do Rumo registado no Pedido de Tiro, como já anteriormente descrito. Primeiro, determina as coordenadas com a correção em distância pedida. Se for alongar ('Registo de Tiro'!I7 = "+") soma a correção, se for encurtar, subtrai.

SE('Registo de Tiro'!I7 = "+"; 'Dados Iniciais'!R19 + ('Registo de Tiro'!J7 * 'Dados Iniciais'!U19); 'Dados Iniciais'!R19 - ('Registo de Tiro'!J7 * 'Dados Iniciais'!U19))

Após isso, determina as coordenadas com correção em direção.

SE(E(1600<='Registo de Tiro'!K16;'Registo de Tiro'!K16<3200); SE('Registo de Tiro'!P16="E";SEN(RADIANOS((('Registo de Tiro'!K16-1600)/16)*0,9));
SEN(RADIANOS((('Registo de Tiro'!K16+1600)/16)*0,9)))

Para esse fim, verifica a que quadrante¹¹ pertence o rumo (SE(E(1600<='Registo de Tiro'!K16;'Registo de Tiro'!K16<3200)). Se a correção for para a esquerda (SE('Registo de Tiro'!P16="E")), determinar o seno do rumo menos 1600 milésimos (SEN(RADIANOS((('Registo de Tiro'!K16-1600)/16)*0,9). Caso contrário, determina o

¹⁰ Exemplo: Dist = 1808m; ARRED.EXCESSO(Dist;10) = 1810m; 1810-1808=2 (<=5), logo arredonda para 1810m; Dist = 1804m; ARRED.EXCESSO(Dist;10) = 1810m; 1810-1804=6 (>5), logo arredonda para 1800m.

¹¹ Sejam R o rumo e Q o Quadrante: 0<= R <1600 ->1ºQ; 1600<= R <3200 ->2ºQ; 3200<= R <4800 ->3ºQ; 4800<= R <6400 ->4ºQ

seno do rumo mais 1600 milésimos¹². Por fim, determina a distância e rumo da Bateria para o objetivo e devolve no Registo de Tiro a Direção e Distância, tal como já foi descrito.

Num Pedido de Tiro por coordenadas polares, o programa procede da mesma maneira que por desvios métricos. O que se altera no modo de obter as coordenadas do objetivo é que o transporte de coordenadas é feito a partir das coordenadas do OAv e não das do PR.

Finalmente, para determinar os elementos topográficos nos comandos de tiro subsequentes, o programa aplica o transporte de coordenadas com as correções do OAv da mesma maneira que o faz no Pedido de Tiro por desvios métricos. A diferença é que será sempre a partir das coordenadas determinadas na correção anterior.

Como já foi visto no Capítulo 1, o Ângulo de Observação é formado pela interseção da LT com a LO, bastando subtrair um do outro para o determinar. Este é arredondado aos 10 milésimos, quando este é inferior a 1000 milésimos, e aos 100 milésimos quando superior, como descrito no código seguinte, utilizado no Excel. Este arredondamento é realizado segundo o princípio descrito anteriormente para arredondar o valor da Distância.

<code>SE(aObs01<1000;SE(ARRED.EXCESSO(aObs01;10)-aObs01<=5;ARRED.EXCESSO(aObs01;10);ARRED.DEFEITO(aObs01;10));SE(ARRED.EXCESSO(aObs01;100)-aObs01<=50;ARRED.EXCESSO(aObs01;100); ARRED.DEFEITO(aObs01;100)))</code>
--

7.2 – Determinar Elementos de Tiro

Após o programa ter calculado os Elementos Topográficos da forma descrita, passamos agora a explicar o modo de funcionamento de algumas linhas de código importantes para a determinação dos Elementos de Tiro. Estes elementos constam na TTN escritos em função da distância, em que os valores estão expostos de 100 em 100 ou de 500 em 500 metros, dependendo da tabela em questão. Nos casos das tabelas F e G, uma vez que no cálculo manual o calculador necessita de interpolar para a distância arredondada aos 10 metros, o mesmo foi conseguido na calculadora ao usar a fórmula da interpolação previamente, fazendo com que as tabelas no Excel disponham de dados de 10 em 10 metros.

Deste modo, para a maioria dos elementos que tenham de ser determinados na

¹² . 1ºQ -> Esquerda: R-1600 <0, logo R+4800(-1600+6400), Direita: R+1600; 2ºQ/3ºQ -> Esquerda: R-1600, Direita: R+1600; 4ºQ -> Esquerda: R-1600, Direita: R+1600 >0, logo R-4800(+1600-6400).

TTN é usada a função PROCV, sendo o valor de procura a distância topográfica, devolvendo aquilo que seria analiticamente determinado, como a correção de derivação, a alça, o desvio provável em alcance, os valores de FCCS para o cálculo do Sítio, a duração do trajeto, a carga e a GEp, entre outros. Para além da distância, estes valores dependem também da carga escolhida para cumprir a missão de tiro. Como tal, para além de procurar o valor da distância, tem também de o fazer para a tabela correspondente a essa carga, como exemplificado de seguida.

SE(AZ40="1GB";PROCV(BL38;tabF1_1GB;2;FALSO);
SE(AZ40="2GB";PROCV(BL38;tabF1_2GB;2;FALSO))

Conseguimos aqui observar que dependendo da carga escolhida (SE AZ40="1GB"), o valor da distância irá ser procurado na tabela correspondente (tabF1_1GB) a cada uma das 10 cargas existentes.

De acordo com o *Microsoft Official Academic Course* (MOAC, 2016), a função PROCV¹³ funciona pesquisando por um valor de procura (valor_proc) na primeira coluna de uma matriz (matriz_tabela), devolvendo o valor nessa mesma linha da coluna pretendida (núm_índice_coluna). Isto faz com que esta função seja a mais adequada, uma vez que na maioria das tabelas da TTN a variável necessária para o calculador é determinada em função do valor da primeira coluna, na maior parte das vezes a distância. No entanto, esta função encontra-se limitada para os casos em que o valor de entrada na tabela (valor de procura no Excel) não se encontre na primeira coluna, ou que até seja mais do que um para a mesma tabela (matriz tabela no Excel).

Esta limitação é observável quando depois de uma Regulação de Precisão ABCA é necessário calcular os valores de aferição, onde os valores de distância e GEp do “*Lazy Z*” são determinados em função da alça e não da distância. Isto quer dizer que, voltando ao Excel, o valor de procura neste caso em concreto não se encontra na primeira coluna da matriz tabela, mas sim na segunda, não sendo possível deste modo usar a função PROCV como utilizado até agora, em que o valor de procura era a distância. Para solucionar este problema, foi concebida uma coluna adicional antes da tabela F de cada carga, com os valores da alça correspondente. Com isto, e criando uma matriz em que esta coluna fosse a primeira, ou seja, onde a alça passou a ser o valor de procura, a função PROCV voltou a poder ser utilizada.

¹³ Escrita da seguinte forma: PROCV(valor_proc; matriz_tabela; núm_índice_coluna; [procurar intervalo]) (MOAC, 2016)

A segunda limitação surge para as tabelas B, H e I da TTN, onde o valor a retirar dessas tabelas é determinado em função de dois valores de entrada, distância e altura do posto meteorológico em relação à Bateria, para a tabela B, e distância e rumo do tiro para as outras duas. A solução encontrada para este caso passou por, ao invés de colocar no campo da função PROCV o número da coluna a que pertence o valor a devolver, colocar sim o valor de uma outra célula que faz a associação entre a altura do posto meteorológico em relação à Bateria e a coluna correspondente a esse valor¹⁴, em relação à tabela B. A calculadora age da mesma forma para as tabelas H e I, mas associando o valor do rumo de tiro.

Como já foi referido anteriormente, para além das funções do Excel o programa também recorre a funcionalidades do VBA para colmatar algumas necessidades a qual o Excel por si só não consegue responder. Para além dos já falados botões de limpar e navegar entre separadores, recorreu-se ao código VBA para permitir que apareçam valores em certas células que o utilizador necessita de escrever. Ao utilizar uma fórmula para gerar um valor numa célula numa situação específica, se o utilizador tivesse a necessidade de escrever nessa mesma célula iria apagar a fórmula que lá existia. Isto acontece com a célula onde o calculador deve escrever o rumo da LO, uma vez que este poderá ou não ser enviado pelo OAv no Pedido de Tiro. Caso seja enviado no Pedido de Tiro, a célula do rumo da LO (Cells(45, 3).Value) passa a ter o valor do mesmo enviado pelo OAv (Cells(19, 11).Value), como descrito no código seguinte.

```
If IsEmpty(Cells(9, 38)) = False Then  
Cells(45, 3).Value = Cells(19, 11).Value  
End If
```

Este procedimento “Sub” é ativado através de um “Worksheet Event” apresentado de seguida.

```
If Target.Address = "$C$45:$I$45" Then  
Call RumoLO  
Cancel = True
```

Este código indica que o “Sub” (RumoLO) será ativado quando se selecionar a célula "\$C\$45:\$I\$45", o que em termos práticos significa que depois de escrever o rumo da LO no Pedido de Tiro, este procedimento será lido pelo programa e fará com que este

¹⁴ Por exemplo, se a altura do posto meteorológico em relação à Bateria for de -400 metros, o valor dessa célula será 2, que é a coluna onde se encontra o valor a devolver.

valor seja copiado para a célula destinada a esse rumo. Isto permite que caso não seja logo enviado com o Pedido de Tiro, seja possível escrever nessa célula esse valor quando enviado sem apagar nenhum código uma vez que esse mesmo não se encontra na célula.

Outro exemplo de um procedimento “*Sub*” tem a ver com a duração do trajeto. Esta poderá ser ou não enviada, consoante seja pedida pelo OAv ou noutras situações específicas. Para que o calculador faça aparecer este valor no Registo de Tiro, foi utilizado um “*Worksheet Event*” que funciona do mesmo modo que aquele anteriormente descrito.

```
Range("BN42:BR42").Select  
With Selection. Font  
Color = -3407872  
End With
```

O que acontece aqui é que o valor da duração do trajeto é sempre determinado na célula a isso destinada. No entanto a cor desse valor é a mesma que a do fundo da célula, fazendo com que não esteja visível. Para fazer aparecer esse ao valor, ao clicar na célula (Range("BN42:BR42").Select) essa cor muda para uma diferente, ficando visível (Font Color = -3407872).

É ainda de referir que o restante código, que não foi aqui mencionado, é na sua grande maioria baseado nas fórmulas utilizadas no cálculo manual previstas nos manuais de tiro, com recurso à TTN.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente capítulo representa o culminar de toda a investigação e desenvolvimento deste trabalho. São aqui apresentadas algumas reflexões finais sobre os resultados alcançados e as conclusões que resultaram de todo o processo da investigação, bem como as limitações desta última, propondo ainda futuras investigações no âmbito do tema aqui tratado.

O objetivo principal do trabalho foi o desenvolvimento de uma calculadora de tiro que permitisse apoiar de forma automática o trabalho do calculador do PCT na execução de todas as técnicas de tiro previstas na PDE 3-38-13. Para que este fosse alcançado, foi decomposto em vários objetivos específicos, tendo sido o primeiro a criação da uma calculadora de tiro para o obus M114A1 155mm/23, de forma a garantir a execução de todas as técnicas de tiro previstas na doutrina nacional para todas as cargas propulsoras para as granadas de calibre 155mm. Este programa de cálculo de tiro foi então criado usando o Excel. Para cumprir este objetivo foi necessário inserir todas as tabelas de todas as cargas da TTN no Excel, para além de estudar os métodos de obtenção dos Elementos de Tiro, abordados no Capítulo 1.

A partir deste estudo, surgiu um novo objetivo que não estava inicialmente previsto, que foi o desenvolvimento de uma aplicação que fosse capaz de substituir a Prancheta de Tiro Topográfica e a sua inclusão no trabalho. Uma vez que os Elementos de Tiro são determinados com base nos Elementos Topográficos, foi então criada uma solução para que estes últimos fossem também determinados de forma automática. Não existindo doutrina sobre a realização de cálculos para a obtenção destes valores sem recorrer à prancheta, a solução para este problema foi alcançada recorrendo a fórmulas de transporte de rumos e de coordenadas, conforme o descrito no Capítulo 7.

O segundo objetivo específico passou pela extensão das funcionalidades da calculadora para o seu emprego com o obus M119 105mm LG/30/m98. Isto permitiu o uso do programa num LFX para este material.

O terceiro objetivo específico foi o de construir a estrutura visual da calculadora de maneira a que se assemelhasse à existente nos impressos de tiro utilizados no cálculo manual. Como foi explanado no Capítulo 6, o programa desenvolvido foi criado de tal forma que essa estrutura fosse, em cada separador, o mais semelhante possível aos registos de tiro, impressos de PMP-PMT e de Preparação Teórica utilizados

manualmente, garantido uma familiaridade por parte do calculador que utilizar esta ferramenta aquando do seu preenchimento.

O quarto objetivo específico passou pela validação da calculadora de tiro criada em ambiente virtual, recorrendo ao *software* de modelação e simulação balística PRODAS, e em ambiente operacional, de exercício de fogos reais, para garantir que esta conferia igual ou maior precisão dos elementos determinados pelo cálculo manual. Os resultados destes testes foram apresentados e analisados nos Capítulos 4 e 5, que permitiram concluir que devido à maior precisão alcançada na determinação automática dos Elementos Topográficos, a calculadora demonstra também uma maior precisão na determinação dos Elementos de Tiro.

Deste modo, em conformidade com o que foi até agora descrito, o trabalho realizado permitiu alcançar com sucesso todos os objetivos que visava. Isto levou a que fosse possível atingir o objetivo principal, tendo sido desenvolvida uma ferramenta específica para o trabalho do calculador no PCT.

O programa de cálculo de tiro criado foi de encontro a todos os requisitos apresentados ao longo do trabalho, gerando assim uma calculadora que possui a capacidade de ser implementada no Exército Português, com a garantia de que irá fazer com que o trabalho do calculador seja realizado de um modo mais preciso e mais rápido.

No decorrer desta investigação foram sentidas algumas dificuldades e limitações. Uma dificuldade foi a falta de experiência e o pouco conhecimento de programação em VBA, que foi colmatada com a realização de um curso online de programação em Excel, que deu a conhecer alguns dos métodos utilizados no programa desenvolvido. Uma importante limitação foi o facto de Portugal ter sido afetado por uma pandemia que colocou o país em Estado de Emergência, o que levou ao cancelamento do exercício *Strong Impact*, que se iria realizar em Santa Margarida, onde o programa desenvolvido seria testado num LFX para o material a que se destina, o que não foi possível. O número limitado de munições levou também a que apenas tivesse sido possível a realização de quatro missões de tiro, e pelas limitações em alcance do polígono de tiro do Regimento de Artilharia N.º 5 em Vendas Novas, ter sido utilizadas apenas duas cargas.

Apesar de os objetivos do trabalho terem sido alcançados, existem ainda outros tópicos que poderão ser futuramente abordados e analisados. Para serem calculadas correções de posição e correções especiais, o calculador necessita ainda de utilizar manualmente o M10/17 para determinar alguns valores para que sejam introduzidos no programa. O desenvolvimento de uma aplicação que consiga substituir o M10/17, sendo

garantida igual ou maior precisão nos valores aqui determinados, irá trazer maior rapidez nestas técnicas de tiro. Sabendo que está a ser tratado um TIA em que é pretendido o desenvolvimento de um registo de Comandante de Bateria de Tiro automático em Excel, onde é necessária a determinação do plano de implantação de Bateria utilizando o M10/17, este poderá ser criado de tal forma que garanta todas as funcionalidades do M10/17 e ser depois implementado nesta calculadora de tiro.

A calculadora de tiro criada, apesar de ter sido criada para auxiliar o calculador, poderá ser utilizada pelo Chefe de PCT para verificar a determinação dos Elementos Topográficos e Elementos de Tiro do PCT, bem como o correto preenchimento do registo de tiro por parte do calculador. Com este mesmo propósito, este poderá ser utilizado em contexto didático.

Outra recomendação é a digitalização de todas as tabelas das TTN dos materiais utilizados pelo Exército Português para que, com algumas alterações ao programa, este tenha a capacidade de funcionar para todos estes e outros que possam vir a ser adquiridos. Caso o CINAMIL termine o projeto FIREND e contrua uma TTN para esse fim, o programa desenvolvido poderá também ser utilizado com essa finalidade.

BIBLIOGRAFIA

- Academia Militar [AM] (2016a). *Capítulo 1 - A Artilharia de Campanha*. Lisboa: Publicação de Apoio UC M223
- Academia Militar [AM] (2016b). *Capítulo 5 - Munições de Artilharia de Campanha*. Lisboa: Publicação de Apoio UC M223
- Academia Militar [AM] (2016c). *Capítulo 7 - Introdução ao Tiro de Artilharia de Campanha*. Lisboa: Publicação de Apoio UC M223
- Academia Militar [AM] (2016d). *Capítulo 15 - Preparação Topográfica*. Lisboa: Publicação de Apoio UC M223
- Academia Militar [AM] (2016e). *Capítulo 16 - Determinação dos Elementos de Tiro*. Lisboa: Publicação de Apoio UC M223
- Academia Militar [AM] (2016f). *Capítulo 18 - Organização e Funcionamento da Direção do Tiro*. Lisboa: Publicação de Apoio UC M223
- Academia Militar [AM] (2016g). *Capítulo 19 – Tiro de Área*. Lisboa: Publicação de Apoio UC M223
- Arrow Tech (2002). *PRODAS V3 User Manual*. Vermont: Arrow Tech Associates, Inc.
- Carlucci, D. & Jacobson, S. (2014). *Theory and Design of Guns and Ammunition* (2ª Edição). Florida: CRC Press
- Chusilp, P., Charubhun, W., & Ridluan, A. (2011). Developing Firing Table Software for Artillery Projectiles using Iterative Search and 6-DOF Trajectory Model. In *The Second TSME International Conference on Mechanical Engineering*. Krabi: TSME
- Estado-Maior do Exército [EME] (1988). *MC 20-15 Bateria de Bocas de Fogo de Artilharia de Campanha*. Lisboa: Exército Português
- Estado-Maior do Exército [EME] (1991). *MC 20-15 Instrução do Artilheiro Servente do Obus M114 155mm/23*. Lisboa: Exército Português
- Estado-Maior do Exército [EME] (2004). *MC 20-100 Manual de Tática de Artilharia de Campanha*. Lisboa: Exército Português
- Estado-Maior do Exército [EME] (2012). *PDE 3-38-13 Tiro de Artilharia de Campanha*. Lisboa: Exército Português

Ferreira, P. (2008). *Emprego e implementação do sistema automático de comando e controlo no grupo de artilharia de campanha da brigada de intervenção*. Trabalho de Investigação Aplicada, Academia Militar, Lisboa

Figueira, R. (2018). *Programa de Tiro para o obus M114A1 155mm/23*. Trabalho de Investigação Aplicada, Mestrado em Ciências Militares na Especialidade de Artilharia, Academia Militar, Lisboa

Fonte-Boa, R. (2014). *Análise de balística externa de um projétil de calibre 155 mm*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Mecânica, Instituto Superior Técnico, Lisboa

Khandani S. (2005) PHD, *Engineering Design Process*, California: Industry Initiatives for Science and Math Education

McCoy, R. (2012). *Modern Exterior Ballistics*. Pensilvânia: Schiffer Publishing

Mendez, A. M. F. (2019). *Artilharia de Campanha: Rapidez vs Precisão*. Trabalho de Investigação Aplicada, Mestrado em Ciências Militares na Especialidade de Artilharia, Academia Militar, Lisboa

Microsoft Official Academic Course [MOAC]. (2016). *Microsoft Excel 2016*. Nova Jersey: Wiley

Provdanov, C. & Freitas, E. (2013). *Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas de Pesquisa e do Trabalho Acadêmico* (2ª edição). Rio Grande do Sul: Universidade Feevale

Quivy, R., & Campenhoudt, L. V. (2005). *Manual de Investigação em Ciências Sociais* (4a Edição). Lisboa: Gradiva

Santos, L. & Lima, J. (Coord) (2019). *Orientações Metodológicas para Elaboração de Trabalhos de Investigação* (2.ª ed., revista e atualizada). Cadernos do IUM, 8. Lisboa: Instituto Universitário Militar

Smootz, E. & Kass, R. (1984). *Battery Computer System, Human Factors Field Evaluation*. Washington DC: U.S. Army Research Institute

Thuresson, M. (2015). *Development and evaluation of a six degrees of freedom model of a 155 mm artillery projectile*. Tese de Mestrado, Swedish Defense University, Estocolmo

U. S. Department of the Army (1968). *Firing Table 155-Q-4*. Washington DC: U.S. Department of the Army

U. S. Department of the Army. (2016). *TC 3-09.81 Field Artillery Manual Cannon Gunnery*. Washington DC: U.S. Department of the Army

APÊNDICES

APÊNDICE A – DADOS INICIAIS: CORREÇÕES DE POSIÇÃO

Correções de Posição					
bf	Carga	Sec	Dc	Elev	GEp
1	4GB	E			
		C	D1	8	0,5
		D	D1	8	0,5
	5GB	E	D1	5	0,3
		C			
		D			
		E			
		C			
		D			
2	4GB	E			
		C	D2	4	0,3
		D	D2	4	0,3
	5GB	E	D2	2	0,2
		C			
		D			
		E			
		C			
		D			
3	4GB	E			
		C	D3	0	0,0
		D	D3	0	0,0
	5GB	E	D3	0	0,0
		C			
		D			
		E			
		C			
		D			
4	4GB	E			
		C	D3	-2	-0,1
		D	D3	-2	-0,1
	5GB	E	D3	-1	-0,1
		C			
		D			
		E			
		C			
		D			
5	4GB	E			
		C	D6	-3	-0,1
		D	D6	-3	-0,1
	5GB	E	D6	-2	-0,1
		C			
		D			
		E			
		C			
		D			
6	4GB	E			
		C	D6	1	0,1
		D	D6	1	0,1
	5GB	E	D6	1	0,1
		C			
		D			
		E			
		C			
		D			

Figura n.º 14 – Correções de Posição em Dados Iniciais

Fonte: Criado pelo Autor

APÊNDICE B – DADOS INICIAIS: DADOS TOPOGRÁFICOS

Dados Topográficos

Coordenadas da Btr	A	E	38900	N	52820	C	200	RV	0310
Coordenadas da Btr	B	E	43820	N	58700	C	188	RV	4320
Coordenadas da Btr	C	E	61800	N	31000	C	225	RV	0140
Coordenadas da Btr	D	E	54480	N	20470	C	201	RV	0990
Coordenadas do OAv	O1	E	40820	N	58310	C	150		
Coordenadas do OAv	O2	E	39600	N	58440	C	130		
Coordenadas do OAv	O3	E	56410	N	22610	C	190		
Coordenadas do OAv	O4	E	60480	N	21210	C	302		
Coordenadas do PR	PR1	E	40300	N	57240	C	185		
Coordenadas do PR	PR2	E	64000	N	55000	C	378		
Coordenadas do PR	PR3	E	62000	N	52000	C	425		
Coordenadas do PR	PR4	E	59000	N	24000	C	145		

Limpar

Painel Inicial

Figura n.º 15 – Dados Topográficos em Dados Iniciais

Fonte: Criado pelo Autor

APÊNDICE C – DADOS INICIAIS: LOTE DA MUNIÇÃO E METEOGRAMA

Munição	Lote
HE	W Y
HC	S Y
WP	V P
ILL	I L

Meteograma	
METB31	094083
271250	055972
005816	010958
015816	010960
025917	008958
036021	004960

Figura n.º 16 – Lote da Munição e Meteograma em Dados Iniciais

Fonte: Criado pelo Autor

APÊNDICE D – DADOS INICIAIS: ORDEM DE TIRO NORMALIZADA E COMANDO DE TIRO NORMALIZADO

Ordem de Tiro Normalizada			Comando de Tiro Normalizado		
Unidades que executam tiro	Btr		Secções que seguem o comando de tiro / secções que executam o tiro / Mecanismo de tiro	#3	
Bocas de Fogo na Regulação / Mecanismo de Tiro na regulação	#3	P/1	Projétil	HE	
Base para Correções	MMR		Lote	W Y	
Distribuição	Feixe Paralelo		Espoleta	P	
Projétil	HE				
Lote e Carga / TV	W/Y	4GB			
Espoleta	P		Enviado às Secções	S	
Método de Tiro na Eficácia	P/15	HE X/Y P			
Escalonamento em Alcance / Direção / Tiro a Dispersar / Zona	Dist Dc Cnt		Nº de Secções da Btr	6	
Início do Tiro	QP				

Figura n.º 17 – Ordem de Tiro Normalizada e Comando de Tiro Normalizado em Dados Iniciais

Fonte: Criado pelo Autor

APÊNDICE E – EXEMPLO DE RESULTADOS NO PRODAS

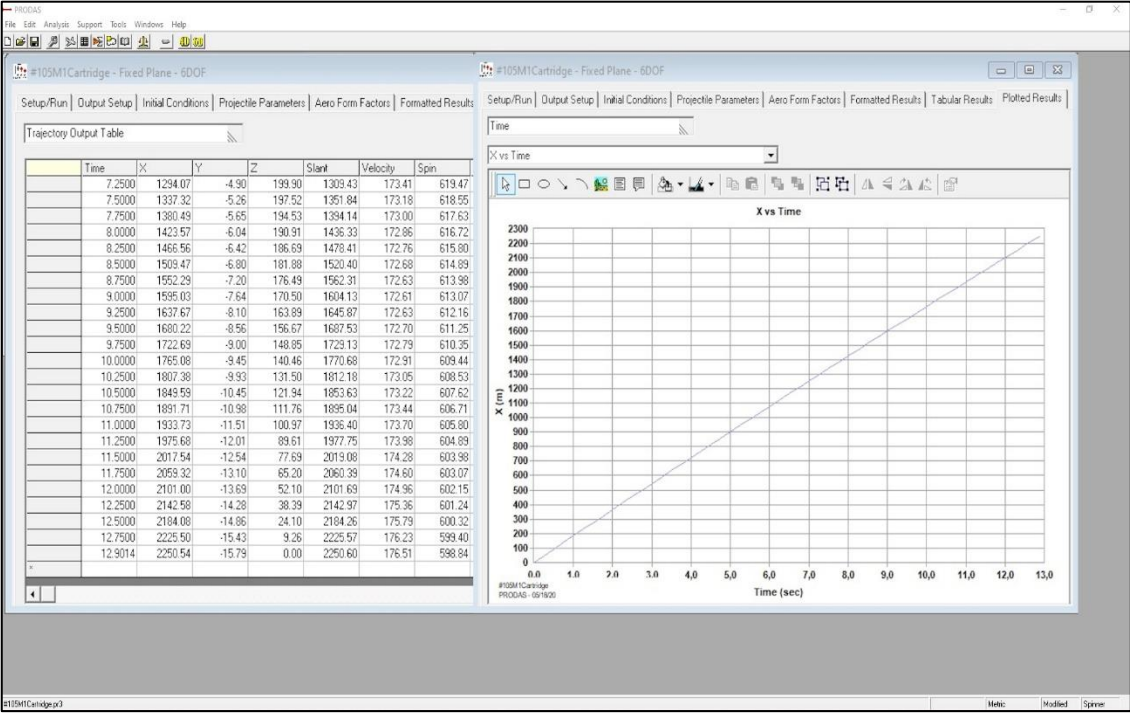


Figura n.º 18 – Exemplo de Resultados no PRODAS

Fonte: Criado pelo Autor

APÊNDICE F – IMPRESSO PMP/PMT EM EXCEL

Limpar Regulação de Precisão PMP/PMT Painel Inicial														
Informação Topográfica				Mensagem de Orientação										
Coordenadas	O1	40820	58310	150	O1	O2	Aqui	PCT	Observe	PMT				
	O2	39600	58440	130	O1	Rumo	3822	Ang Si	7	Meça Ang Si				
Rumo O1 → O2		4908		mils		O2	Rumo	3708	Ang Si	10				
Distância O1-O2		1227		mils		Informem quando prontos								
El Tiro	Lote: W Y	Carga: 4GB	GEp: 17,8		Dc (Reg)	3845		mils		Elev(Reg)	310		mils	
Observações						Cálculo								
Nº Tiro	PO1		PO2											
	R1 - Rumo	Ang Si	R2 - Rumo											
1	0991	32	0332											
2	0996	30	0334											
3	0993	36	0330											
4	0994	34	0335											
5	0992	38	0332											
6	0997	32	0333											
7														
8														
9														
10														
Soma	5963	202	1996		Ang P = R1 - R2 Se Ang P > 3200, subtrair de 6400 mils Ang P = 661 661 mils									
PMR (Média)	0994	34	0333		Ang O2 = (R01-O2) - (RPMR-O2) Se Ang O2 > 3200, subtrair de 6400 mils Ang O2 = 1375 1375 mils									
				± 3200 mils		$d1 = \frac{b \text{ Sen } O2}{\text{Sen } P}$ d1 = 1981 ≈ 1980 m								
				Rumo PMR-O2		3533		mils						
Cálculo das Coordenadas do Ponto Médio														
ΔE = d1 sen R1 =		1641		+	E do PO1=		40820		=	PMR	E	42461		
ΔN = d1 cos R1 =		1110			N do PO1=		58310				N	59420		
ΔC = d1 tg (Ang Si) =		66			C do PO1=		150				C	216		
Elementos Topográficos do PMR (Prancheta/Analítico)										Direção: 0194 mils		Distância: 7500 m		
Cálculo Cor Dc				Cálculo Sítio PMR				Cálculo Alça Reg						
Dc Reg	3845			Cota PMR	216			Elev Reg	310					
- Dc Topo	0194			- Cota Btr	200			- Sítio	4					
Cor Tot Dc	E	3651			ΔC	16			Alça Reg	306				
- Cor Dv	E	16			Dist Topo do PMR	7500			GDH					
Cor Dc TTG	E	3635			Sítio	4			241210ABR20					
Ref TTG: A Lt: W Y Cg: 4GB Dist: 7500 Alça: 306 GEp: 18 Corr Tor Dc: E 3651 Corr Dc TTG: E 3635														

Figura n.º 19 – Impresso PMP-PMT em Excel

Fonte: Criado pelo Autor

APÊNDICE G – IMPRESSO PREPARAÇÃO TEÓRICA EM EXCEL

Limpar

Preparação Teórica Concorrente

Painel Inicial

Dados da Bateria				Meteograma			
Cg	4GB	Elv Reg	414	Dist Top	4810	Lat	30N
Cota da Bateria (10m)		200		Data	27	Hora	12:30
Cota do Posto Meteo		550		Linha	02	R Vento	5900
Btr Abaixo Posto Meteo		-350		V Vento	17	Temp Ar	100,8
Cota do Objetivo (1m)		185		Correção de ΔH	+ 0,8 + 3,5		
Altura de Rebentamento				Valores Corrigidos	101,6 99,3		
Cota do Rebentamento		185					
Cota da Bateria (1m)		200					
Altura do Objetivo (Reb) acima da bf (1m)		-350 ≈ -300		Corr Compl Alcance	0	+ Distância Topográfica	4810
				Distância de entrada	4810	4800 (100m)	

Direção e Componentes do Vento

Quando Rv < RT somar	6400	(Cor Resid Dc Antiga + Corr Resid Dc Nova)/2 = Corr Resid Média	
Rumo do Vento	5900	() + () /2 = ()	
Rumo do Tiro (3637)	3600 (100 mils)	Cor Tot Dc = Cor Teór Dc + Cor Resid Dc	Corr Rot Terra D 0,8
Âng Vento menos Tiro	2300	(E 3) = (E 4) + (D 1)	Corr Derivação E 7,0
Transversal Vel Vento 17 x Comp D 0,77 = D 13	Nós x 0,19	Corr Unitária	Corr V Transversal D 2,47 (1 mils)
Longitudinal Vel Vento 17 x Comp T 0,63 = T 11	Nós		Corr Teór em Dc E 3,73 E 4

Correção Teórica em Alcance

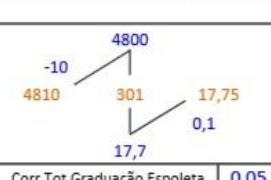
	Valores Conhecidos	Valores Padrão	Variações dos Valores padrão	Correções Unitárias	(+)	(-)
Vento Longitudinal	T 11	0	T 11	-1,7		-18,7
Temperatura do Ar	101,6	100 %	A 1,6	-0,1		-0,2
Densidade do Ar	99,3	100 %	D 0,7	-5,7		-4,0
Peso do Projétil (□)	3 □	4 □	D 1	-36,0		-36,0
Rotação da Terra	7 x	0,87			6,1	
					6,1	-58,9
					6,1	(1 mils)
Correção Teórica em Alcance						-52,8 -53

DVo Residual


Erro V0 (4) = dVo Absoluto (5,1) + dVo Residual (-1,1)					
Temp da Carga 42 °F	Erro de V0	4,0 m/s	A- -23,3	Corr Total em Alcance	-10
	Corr de V0 devido à Temp Cg	-1,3 m/s	D+ 29	Corr Teór em Alcance	-53
	dVo	2,7 m/s	Corr Unit V0 -23,3	Corr em Alcance devido à V0	-63 (10 m)
dVo Rsd Ant () + dVo Rsd Nv () = /2 = m/s				dVo Rsd Médio	
				Corr Total em Alcance	

Correção Teórica de Graduação de Espoleta

GEp <> Alça Regulação	Variação dos Valores Padrão	Corr Unitárias	(+)	(-)	
17,7 ≈ 18,0 dVo	A 2,7	0,051	0,138		
Vento Longitudinal	T 11	0,001	0,011		
Temperatura do Ar	A 1,6	0,000	0,000		
Densidade do Ar	D 0,7	0,006	0,004		
Peso do Projétil (□)	D 1	0,080	0,080		
				Corr Tot Graduação Espoleta	0,05
				Corr Teór Graduação Espoleta	0,2
				Corr Rsd Graduação Espoleta	-0,15
				Corr Tot Graduação Espoleta	



4810	4800
-10	301
17,7	17,75
0,1	



Correção Teórica de Graduação de Espoleta

0,233 0,000

Correção Residual GEp Antiga () + Correção Residual GEp Nova () = /2 =

Corr Rsd Med de GEp

Objetivo Nº	PR1	Bateria	A	GDH	241444ABR20
-------------	-----	---------	---	-----	-------------

Figura n.º 20 – Impresso Preparação Teórica em Excel

Fonte: Criado pelo Autor

APÊNDICE H – OBJETIVOS PLANEADOS

Lista de Objetivos				
Coordenadas do Obj	PF1010	E 59030	N 36550	C
Coordenadas do Obj	PF1011	E 62850	N 38350	C
Coordenadas do Obj	PF1012	E 60280	N 36440	C
Coordenadas do Obj	PF1013	E 61550	N 36700	C
Coordenadas do Obj		E	N	C
Coordenadas do Obj		E	N	C
Coordenadas do Obj		E	N	C
Coordenadas do Obj		E	N	C
Coordenadas do Obj		E	N	C
Coordenadas do Obj	PF1001	E 39896	N 57494	C 315
Coordenadas do Obj	PF1002	E 67000	N 53000	C
Coordenadas do Obj	PF1003	E 63000	N 49000	C
Coordenadas do Obj	PF1004	E 59000	N 53000	C
Coordenadas do Obj	PF1005	E 65000	N 55000	C
Coordenadas do Obj	PF1006	E 65000	N 51000	C
Coordenadas do Obj	PF1007	E 61000	N 51000	C
Coordenadas do Obj	PF1008	E 61000	N 55000	C
Coordenadas do Obj	PF2000	E 64500	N 58600	C
Coordenadas do Obj		E	N	C
Coordenadas do Obj		E	N	C

Limpar

Painel Inicial

Figura n.º 21 – Objetivos Planeados

Fonte: Criado pelo Autor

APÊNDICE I – PAINEL PRINCIPAL

Calculadora de Tiro

Dados Iniciais

Registo de Tiro

Impresso PMP-PMT

Objetivos Planeados

Registo de Tiro (verso)

Impresso Preparação Teórica Concorrente

Ajuda

Registo de Tiro Preparação Experimental

Impresso Preparação Teórica Subsquente

Figura n.º 22 – Painel Inicial

Fonte: Adaptado de Figueira (2018)

APÊNDICE J – REGISTO DE TIRO EM EXCEL

Limpar		Painel Inicial		Registo de Tiro																																																																																																																																																																													
Pedido de Tiro Ident Obsv <input type="text" value="O4"/> Reg <input checked="" type="checkbox"/> Ef <input type="checkbox"/> Sup <input type="checkbox"/> Sup lmd <input type="checkbox"/> Btr <input type="text" value="D"/> Obj <input type="text"/> Desvios <input type="text"/> Polar <input checked="" type="checkbox"/>										Cg TV <input type="text"/> FI <input type="text"/> N Carregar <input type="checkbox"/> Mud Rumor <input type="checkbox"/> Cota Btr <input type="text" value="201"/> FCCS <input type="text" value="0,216"/> Cota Obj <input type="text" value="262"/> CCAS <input type="text" value="2,3"/> ΔZ <input type="text" value="+ 61"/> Si <input type="text" value="+ 13"/> < Si <input type="text" value="+ 10,7"/>					ΔFS 100/R /R 20/R Corr Alt Reb																																																																																																																																																																		
Coordenadas: E <input type="text"/> N <input type="text"/> C <input type="text"/> Rumor <input type="text"/> Desvios: Rumor <input type="text"/> E <input type="text"/> Alg <input type="text"/> Ac <input type="text"/> Polar: Rumor <input type="text" value="5960"/> Dist <input type="text" value="2400"/> Ab <input type="text" value="40"/> <Si <input type="text"/>										Descrição do Objetivo: Método de Ataque: Método de Tiro e Controlo:																																																																																																																																																																							
Ordem de Tiro Un Ex Tiro <input type="checkbox"/> Bf <input type="checkbox"/> Mec T <input type="checkbox"/> Ba Corr <input type="checkbox"/> Distribuição <input type="checkbox"/> Prio <input type="checkbox"/> Lt <input type="checkbox"/> Cg <input type="checkbox"/> Esp <input type="checkbox"/> Met Tiro Ef <input type="checkbox"/> Escalon <input type="checkbox"/> In Tiro <input type="checkbox"/> Comando de Tiro Inicial MT <input checked="" type="checkbox"/> Mec Tiro <input type="checkbox"/> Btr <input type="text"/> Reg <input type="text"/> Dist <input type="text" value="5790"/> Inst Espec <input type="text"/> Gr <input type="text"/> Lote <input type="text"/> Cg <input type="text" value="4GB"/> Ep <input type="text"/> GEp <input type="text"/> MPO <input type="text"/> < Obs <input type="text" value="1500"/> ex <input type="text" value="(24)"/> Dur Traj <input type="text"/> n/Ef <input type="text" value="P/3"/>										Corr Dc <input type="text" value="E 9"/> Si <input type="text" value="13"/> Dc Top <input type="text" value="0071"/> Alça <input type="text" value="388"/> Dc <input type="text" value="0062"/> Elev <input type="text" value="401"/> n/Ef <input type="text" value="P/3"/> Nº Tiros <input type="text" value="1"/>																																																																																																																																																																							
R, Mec Tr, Gr, Ep R <input type="text" value="5960"/>										<table border="1"> <thead> <tr> <th>Corr Dc</th> <th>Corr Dist</th> <th>Corr Alt</th> <th>Cont, At, Rpt</th> <th>Mec Tr, Gr, Cg, Ep</th> <th>Corr Ep</th> <th>GEp</th> <th>Dc Top</th> <th>Corr Dc (E 9)</th> <th>Dc</th> <th>Dist Top</th> <th>Corr Alt Reb</th> <th>Si (13)</th> <th>Alça</th> <th>Elev</th> <th>Gasta</th> <th>Tipo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E 30</td> <td>- 800</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0213</td> <td>E 9</td> <td>0204</td> <td>5730</td> <td>13</td> <td>382</td> <td>395</td> <td>2</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>D 20</td> <td>+ 400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0142</td> <td>E 9</td> <td>0133</td> <td>5750</td> <td>13</td> <td>384</td> <td>397</td> <td>3</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>- 200</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0177</td> <td>E 9</td> <td>0168</td> <td>5750</td> <td>13</td> <td>384</td> <td>397</td> <td>4</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>D 20</td> <td>+ 100</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0159</td> <td>E 9</td> <td>0150</td> <td>5770</td> <td>13</td> <td>386</td> <td>399</td> <td>5</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>+ 100</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0142</td> <td>E 9</td> <td>0133</td> <td>5770</td> <td>13</td> <td>386</td> <td>399</td> <td>6</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>+ 100</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0124</td> <td>E 9</td> <td>0115</td> <td>5770</td> <td>13</td> <td>386</td> <td>399</td> <td>7</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>D 160</td> <td>- 50</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0134</td> <td>E 9</td> <td>0125</td> <td>5930</td> <td>13</td> <td>402</td> <td>415</td> <td>8</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>+ 20</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0130</td> <td>E 9</td> <td>0121</td> <td>5930</td> <td>13</td> <td>402</td> <td>415</td> <td>26</td> <td></td> <td>HE/P</td> </tr> </tbody> </table>															Corr Dc	Corr Dist	Corr Alt	Cont, At, Rpt	Mec Tr, Gr, Cg, Ep	Corr Ep	GEp	Dc Top	Corr Dc (E 9)	Dc	Dist Top	Corr Alt Reb	Si (13)	Alça	Elev	Gasta	Tipo	E 30	- 800						0213	E 9	0204	5730	13	382	395	2			D 20	+ 400						0142	E 9	0133	5750	13	384	397	3				- 200						0177	E 9	0168	5750	13	384	397	4			D 20	+ 100						0159	E 9	0150	5770	13	386	399	5				+ 100						0142	E 9	0133	5770	13	386	399	6				+ 100						0124	E 9	0115	5770	13	386	399	7			D 160	- 50						0134	E 9	0125	5930	13	402	415	8				+ 20						0130	E 9	0121	5930	13	402	415	26		HE/P
Corr Dc	Corr Dist	Corr Alt	Cont, At, Rpt	Mec Tr, Gr, Cg, Ep	Corr Ep	GEp	Dc Top	Corr Dc (E 9)	Dc	Dist Top	Corr Alt Reb	Si (13)	Alça	Elev	Gasta	Tipo																																																																																																																																																																	
E 30	- 800						0213	E 9	0204	5730	13	382	395	2																																																																																																																																																																			
D 20	+ 400						0142	E 9	0133	5750	13	384	397	3																																																																																																																																																																			
	- 200						0177	E 9	0168	5750	13	384	397	4																																																																																																																																																																			
D 20	+ 100						0159	E 9	0150	5770	13	386	399	5																																																																																																																																																																			
	+ 100						0142	E 9	0133	5770	13	386	399	6																																																																																																																																																																			
	+ 100						0124	E 9	0115	5770	13	386	399	7																																																																																																																																																																			
D 160	- 50						0134	E 9	0125	5930	13	402	415	8																																																																																																																																																																			
	+ 20						0130	E 9	0121	5930	13	402	415	26		HE/P																																																																																																																																																																	
Mensagem de Aferição: Utilizar <input type="checkbox"/> Rel Danos <input type="checkbox"/> Obj Suprimido, 10% baixas Registrar de Tiro (verso) <input type="checkbox"/> TTG <input type="checkbox"/> Cg <input type="checkbox"/> Lote <input type="checkbox"/> Distância <input type="text"/> Alça <input type="text"/> GEp <input type="text"/> Corr Tot Dc <input type="text"/> Corr Dc TTG <input type="text"/> TV <input type="text"/>										Range K = <input type="text"/> Fuze K = <input type="text"/>																																																																																																																																																																							
Btr <input type="text" value="D"/> GDH <input type="text" value="161635ABR20"/> Obj <input type="text"/> Coord de Remarcação <input type="text"/> Cota de Remarcação <input type="text"/>																																																																																																																																																																																	

Figura n.º 23 – Registo de Tiro em Excel

Fonte: Criado pelo Autor

APÊNDICE K – REGISTO DE TIRO PREPARAÇÃO EXPERIMENTAL EM EXCEL

Limp		Painel Inicial		Registo de Tiro																																																																																																																																																						
Pedido de Tiro Ident Obsv <input type="checkbox"/> Reg <input type="checkbox"/> Ef <input type="checkbox"/> Sup <input type="checkbox"/> Sup lmd <input type="checkbox"/> Btr <input type="checkbox"/> Obj <input type="checkbox"/> Desvios <input type="checkbox"/> Polar <input type="checkbox"/>				Cg TV <input type="checkbox"/> FI <input type="checkbox"/> N Carregar <input type="checkbox"/> Mud Rumor <input type="checkbox"/> Cota Btr 200 FCCS -0.090 Cota Obj 185 CCAS -0.3 ΔZ -15 Si -4 < Si -3.3 OAv Btr ABCA Reg Prec s/ PR1 P e T ABCA X O1 A 10miSi											ΔFS 0,12 100/R 23 50 /R 12 20/R 5 Corr Alt Reb																																																																																																																																											
Coordenadas: E N C Rumor Desvios: Rumor E Alg Ac Polar: Rumor Dist Ac/Ab <Si				Descrição do Objetivo: Método de Ataque: RUMOR 0440 Método de Tiro e Controlo:																																																																																																																																																						
Ordem de Tiro Un Ex Tiro Bf Mec T Ba Com Distribuição Proj Lt Cg Esp Mat Tiro Ef Escalon In Tiro bFD MT X Mec Tiro bFD Reg Dist 4640 Inst Espec Usar Quadrante Gr Lote Cg 4GB Ep GEp Dc Top 0002 Dc 6395 Elev 284 MPO Observe Reg Prec s/ PR1 P e T < Obs (130) ex (19) Dur Traj P e T Nº Tiros 1				Corr Dc E 7 Si -4 Dc Top 0002 Alça 288 Dc 6395 Elev 284 Nº Tiros 1																																																																																																																																																						
R, Mec Tr, Gr, Ep Corr Dc Corr Dist Corr Alt Cont, At, Rpt Mec Tr, Gr, Cg, Ep Corr Ep GEp Dc Top Corr Dc (E 7) Dc Dist Top Corr Alt Reb Si Alça Elev Gasta Tipo				<table border="1"> <tr> <td>E 40</td> <td>- 200</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>6388</td> <td>E 7</td> <td>6381</td> <td>4440</td> <td>-4</td> <td>272</td> <td>268</td> <td>2</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>+ 100</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>6391</td> <td>E 7</td> <td>6384</td> <td>4540</td> <td>-4</td> <td>280</td> <td>276</td> <td>3</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>- 50</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>6389</td> <td>E 7</td> <td>6382</td> <td>4490</td> <td>-4</td> <td>278</td> <td>272</td> <td>4</td> <td></td> </tr> <tr> <td>P/2</td> <td>+ 25</td> <td></td> <td></td> <td>P/2</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>6390</td> <td>E 7</td> <td>6383</td> <td>4520</td> <td>-4</td> <td>278</td> <td>274</td> <td>6</td> <td></td> </tr> <tr> <td>P/1</td> <td>- 25</td> <td></td> <td></td> <td>P/1</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>6389</td> <td>E 7</td> <td>6382</td> <td>4490</td> <td>-4</td> <td>276</td> <td>272</td> <td>7</td> <td>HE/P</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Rpt</td> <td></td> <td>T</td> <td></td> <td>16,4</td> <td>6389</td> <td>E 7</td> <td>6382</td> <td>4490</td> <td>5</td> <td>1</td> <td>276</td> <td>277</td> </tr> <tr> <td>P/3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Rpt</td> <td>P/3</td> <td></td> <td></td> <td>16,4</td> <td>6389</td> <td>E 7</td> <td>6382</td> <td>4490</td> <td>1</td> <td>276</td> <td>277</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Ac 10</td> <td>FM</td> <td>FM</td> <td></td> <td>-0,1</td> <td>6389</td> <td>E 7</td> <td>6382</td> <td>4490</td> <td>1</td> <td>276</td> <td>277</td> <td></td> </tr> </table>															E 40	- 200							6388	E 7	6381	4440	-4	272	268	2			+ 100							6391	E 7	6384	4540	-4	280	276	3			- 50							6389	E 7	6382	4490	-4	278	272	4		P/2	+ 25			P/2				6390	E 7	6383	4520	-4	278	274	6		P/1	- 25			P/1				6389	E 7	6382	4490	-4	276	272	7	HE/P					Rpt		T		16,4	6389	E 7	6382	4490	5	1	276	277	P/3				Rpt	P/3			16,4	6389	E 7	6382	4490	1	276	277	4					Ac 10	FM	FM		-0,1	6389	E 7	6382	4490	1	276	277	
E 40	- 200							6388	E 7	6381	4440	-4	272	268	2																																																																																																																																											
	+ 100							6391	E 7	6384	4540	-4	280	276	3																																																																																																																																											
	- 50							6389	E 7	6382	4490	-4	278	272	4																																																																																																																																											
P/2	+ 25			P/2				6390	E 7	6383	4520	-4	278	274	6																																																																																																																																											
P/1	- 25			P/1				6389	E 7	6382	4490	-4	276	272	7	HE/P																																																																																																																																										
				Rpt		T		16,4	6389	E 7	6382	4490	5	1	276	277																																																																																																																																										
P/3				Rpt	P/3			16,4	6389	E 7	6382	4490	1	276	277	4																																																																																																																																										
				Ac 10	FM	FM		-0,1	6389	E 7	6382	4490	1	276	277																																																																																																																																											
				Impresso PMP-PMT Registo de Tiro (verso)																																																																																																																																																						
Btr A GDH 141535ABR20 Obj PR1 Coord de Remarcação Cota de Remarcação																																																																																																																																																										

Figura n.º 24 – Registo de Tiro Preparação Experimental em Excel

Fonte: Criado pelo Autor

APÊNDICE L – VERSO DO REGISTO DE TIRO EM EXCEL

Cálculo dos Elementos de Aferição										Painel Inicial		Registro de Tiro																																																																																																																																	
Distância Corrigida ao CB					Correção de Direção																																																																																																																																								
1	Distância Topográfica	4640	(10 m)	6	Direção de Regulação	6382	(1 m)																																																																																																																																						
2	Afast Longit CB-bfD (F-/R+)	-10	(10 m)	5	Correção para o CB (E-/D+)	4	(1 m)																																																																																																																																						
3	Distância Corrigida	4630	(10 m)	7	Dir Reg P/O CB	6386	(1 m)																																																																																																																																						
Correção de Direção para o CB					8	Direção Topográfica	0002	(1 m)																																																																																																																																					
4	Af Lat CB-bfD (E/D)	D 20	(5 m)	9	Correção Total	7 - 8 (E+/D-)	D 16	(1 m)																																																																																																																																					
3	Distância Corrigida	4,63	(5 m)	10	Derivação (~ Alça de Regul) (E)	E 6	(1 m)																																																																																																																																						
5	Correção	4 - 3 (E+/D-)	D 4	(1 m)	11	Correção Dir TTG	9 - 10 (E)	10	(1 m)																																																																																																																																				
TTG A Cg 4GB Lote W Y Dist 4630 Alça 276 GEp 16,3										Correção de Direção																																																																																																																																			
TTG Cg Lote Dist Alça GEp										Total D 16		TTG E 10																																																																																																																																	
Transferência dos Elementos de Aferição																																																																																																																																													
Correções de Posição							Correções Especiais																																																																																																																																						
Sector							Carga																																																																																																																																						
Limites de Validade							Correções de Posição																																																																																																																																						
Esquerda Centro Direita																																																																																																																																													
Dc Cent + 400 m Dc							Dc Dc Cent - 400 m																																																																																																																																						
Dist Cent + 2000 m Dist Min							Max Dist Dist Cent - 2000 m																																																																																																																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Bf</th> <th>Corr Para a Linha de Reb</th> <th>Direção da Correção P→CB← A←CB→</th> <th>Correção Lateral a Introduzir (E/D)</th> <th>100/R TTG P Dist Min A Dist Max</th> <th>Correção de Posição em Direção 1 x 2 100 (E/D)</th> <th>Diferenças Comparativas de Veloc Iniciais Btr</th> <th>Fator de Correção de V0 (Tab F) D+ A-</th> <th>Correção em Alcance Devida a V0 4 x 5</th> <th>Afast em Alcance em Relação ao CB (F-/R+)</th> <th>Correção Total em Alcance 6 + 7</th> <th>Correção de Posição da Alça 8 : Var Dist 1m VAR Alça (Tab F)</th> <th>Distância Corrigida 8 ± 10m Mais Dist do Centro</th> <th>GEp - 10</th> <th>Correção Pos GEp 11 Menos GEp ~ Dist Centro</th> <th>Bf</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Nr</td> <td>Nr</td> <td>P/A</td> <td>5 m</td> <td>1 m</td> <td>1 m</td> <td>0,1 m/s</td> <td>0,1 m</td> <td>1 m</td> <td>5 m</td> <td>1 m</td> <td>1 m</td> <td>10 m</td> <td>0,1</td> <td>0,1</td> <td>Nr</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>6</td> </tr> </tbody> </table>														Bf	Corr Para a Linha de Reb	Direção da Correção P→CB← A←CB→	Correção Lateral a Introduzir (E/D)	100/R TTG P Dist Min A Dist Max	Correção de Posição em Direção 1 x 2 100 (E/D)	Diferenças Comparativas de Veloc Iniciais Btr	Fator de Correção de V0 (Tab F) D+ A-	Correção em Alcance Devida a V0 4 x 5	Afast em Alcance em Relação ao CB (F-/R+)	Correção Total em Alcance 6 + 7	Correção de Posição da Alça 8 : Var Dist 1m VAR Alça (Tab F)	Distância Corrigida 8 ± 10m Mais Dist do Centro	GEp - 10	Correção Pos GEp 11 Menos GEp ~ Dist Centro	Bf	Nr	Nr	P/A	5 m	1 m	1 m	0,1 m/s	0,1 m	1 m	5 m	1 m	1 m	10 m	0,1	0,1	Nr	1								0							1	2								0							2	3								0							3	4								0							4	5								0							5	6								0							6
Bf	Corr Para a Linha de Reb	Direção da Correção P→CB← A←CB→	Correção Lateral a Introduzir (E/D)	100/R TTG P Dist Min A Dist Max	Correção de Posição em Direção 1 x 2 100 (E/D)	Diferenças Comparativas de Veloc Iniciais Btr	Fator de Correção de V0 (Tab F) D+ A-	Correção em Alcance Devida a V0 4 x 5	Afast em Alcance em Relação ao CB (F-/R+)	Correção Total em Alcance 6 + 7	Correção de Posição da Alça 8 : Var Dist 1m VAR Alça (Tab F)	Distância Corrigida 8 ± 10m Mais Dist do Centro	GEp - 10	Correção Pos GEp 11 Menos GEp ~ Dist Centro	Bf																																																																																																																														
Nr	Nr	P/A	5 m	1 m	1 m	0,1 m/s	0,1 m	1 m	5 m	1 m	1 m	10 m	0,1	0,1	Nr																																																																																																																														
1								0							1																																																																																																																														
2								0							2																																																																																																																														
3								0							3																																																																																																																														
4								0							4																																																																																																																														
5								0							5																																																																																																																														
6								0							6																																																																																																																														

Figura n.º 25 – Verso do Registro de Tiro em Excel

Fonte: Criado pelo Autor

ANEXOS

ANEXO A – ÂNGULO DE OBSERVAÇÃO

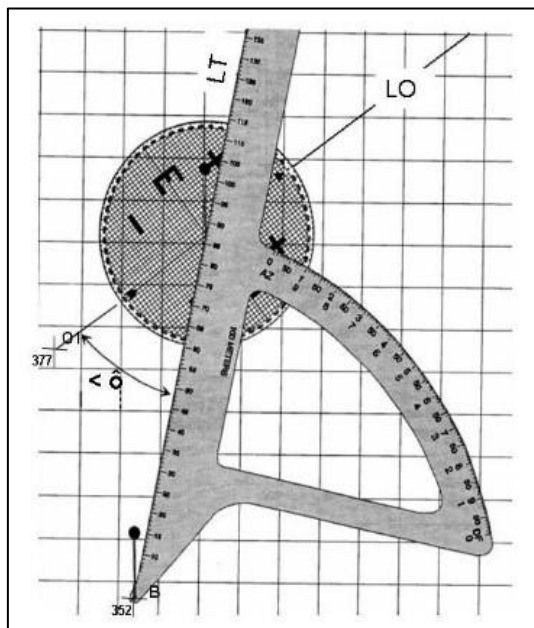


Figura n.º 26 – Ângulo de Observação

Fonte: Academia Militar (2016d)

ANEXO B – DIREÇÃO TOPOGRÁFICA

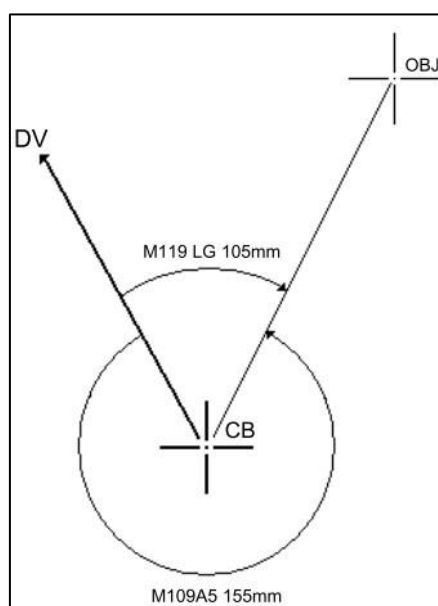


Figura n.º 27 – Direção para os Obuses M119 LG e M109A5

Fonte: Estado-Maior do Exército (2012)

ANEXO C – IMPRESSO PMP/PMT

 S. R. MINISTÉRIO DA DEFESA NACIONAL EXÉRCITO PORTUGUÊS ARMA DE ARTILHARIA Tiro de Art de Camp		REGULAÇÃO DE PRECISÃO PMP/PMT		RM (ZM) _____ Un (Estb) _____ Data _____	
INFORMAÇÃO TOPOGRÁFICA				MENSAGEM DE ORIENTAÇÃO	
Coordenadas		01			_____, Aqui _____ Observem PMP/PTM K)
		02			
Rumo $0_1 \rightarrow 0_2$				Rumo _____ Âng. Sit _____ Meça Âng. Sit. _____ K)	
Distância $0_1, 0_2$ (b)				Rumo _____ Âng. Sit _____ K)	
				Informem Quando Prontos K)	
EL. TIRO	Lote:	CG:	GEsp:	Dc (Reg)	ELEV (Reg)
				(m)	(m)
OBSERVAÇÕES				CÁLCULO	
No TIRO	P0 ₁	P0 ₂			
	R ₁ – (Rumo) (m)	∠ Si (m)	R ₂ – (Rumo) (m)		
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
Soma				$\angle p = R_1 - R_2 $ Se $\angle p > 3200$, Subtrair de 6400 (m)	
PMR (média)	(m)	(m)	(m)	$\angle 0_2 = R_{0_1 \rightarrow 0_2} - R_{PMR \rightarrow 0_2} $ Se $\angle 0_2 > 3200$, subtrair de 6400 (m)	
		± 3200	(m)	$d_1 = \frac{b \sin 0_2}{\sin p}$	
	Rumo PMR $\rightarrow 0_2$		(m)	$d_1 =$ _____ (m)	
CÁLCULO DAS COORDENADAS DO PONTO MÉDIO					
dE = d ₁ sen R ₁ =		⊕	E do P0 ₁ =		⊖
dN = d ₁ cos R ₁ =			N do P0 ₁ =		
dC = d ₁ tg ∠ Si =			C do P0 ₁ =		
					PMR
					E
					N
					C
ELEMENTOS TOPO DO PMR (Prancheta/Analítico):				Dc: _____ (m)	Distância: _____ (m)
Cálculo COR. Dc		Cálculo Sítio PMR		Cálculo ALÇA REG.	
Dc Reg	(m)	Cota PMR	(m)	Elev Reg	(m)
Dc Topo	(m)	Cota BTR	(m)	SÍTIO	(m)
TOT Dc	(m)	ΔC	(m)	ALÇA REG	(m)
Cor. Deriv.	(m)	Dist Top do PMR	(m)	GDH	
Dc	(m)	SÍTIO	(m)		
TTG	(m)				
Ref TTG: Gr _____, Lt _____, CG _____, Dist _____, ALÇ _____, G Esp _____					

DAA — AC — 202
Exclusivo do Exército Português
Proibida a reprodução
CEGRAF/Ex — Mod 539/GM

Figura n.º 28 – Impresso PMT/PMT

Fonte: Estado-Maior do Exército (2012)

ANEXO D – IMPRESSO PREPARAÇÃO TEÓRICA CONCORRENTE / SUBSEQUENTE

PREPARAÇÃO TEÓRICA CONCORRENTE / SUBSEQUENTE									
DADOS DA BATERIA				METEOGRAMA					
Cg	Elv Reg	Dist Top	Lat	Tipo Msg		Octante	Centro Zona		
Cota da Bateria (10 m)				Data	Hora		Cota P. Mteco	Pressão	
Cota do Posto Mteco				Linha	Rumo Vento	Vel Vento	Temp Ar	Dens Ar	
Btr	Acima Abaixo	Posto Mteco		Correção de Δh			\pm	\pm	
Cota do Objectivo (1m)				Valores Corrigidos					
Altura de Rebentamento				(100 m)					
Cota do Rebentamento									
Cota da Bateria (1 m)									
Altura do Objectivo (Reb) acima da Boca de Fogo (1 m)				Corr Compl Alcance	Distância Topográfica	Distância de Entrada			
DIREÇÃO E COMPONENTES DO VENTO									
Quando RV < RT Somar		6400		(Corr Resid D _c Antiga + Corr Resid D _c Nova) / 2 = Corr Resid Média					
Rumo do Vento				() + () / 2 = ()					
Rumo do Tiro ()		(100 mils)		Corr Tot D _c = Corr Teórica D _c + Corr Residual D _c					
Ângulo Vento menos Tiro				() = () + ()					
Vento Transversal	Vel Vento	x Comp	E D	=	E D	Nós x	Correção Unitária	Correção Vento Transversal	E D
Vento Longitudinal	Vel Vento	x Comp	T F	=	T F	Nós		Correção Teórica em Direção	E D
(1 mils)									
CORREÇÃO TEÓRICA EM ALCANCE									
	Valores Conhecidos	Valores Padrão	Variáveis dos Valores Padrão	Correções Unitárias	(+)	(-)			
Vento Longitudinal	T F	0	T F						
Temperatura do Ar		100 %	A D						
Densidade do Ar		100 %	A D						
Peso do Projectil (□)		□	A D						
Rotação da Terra	x								
Correção Teórica em Alcance							(1 m)		
DV ₀ RESIDUAL									
Erro V ₀ () = dV ₀ Absoluto () + dV ₀ Residual ()									
Temperatura da Carga	Erro de V ₀	m / s	A -	D +			Correção Total em Alcance		
"F"	Correção de V ₀ devido à Temperatura da Carga	m / s					Correção Teórica em Alcance		
	dV ₀	m / s	Corr Unit V ₀				Correção em Alcance devido à V ₀		
dV ₀ Resid Antigo () + dV ₀ Resid Novo () =				/ 2 =		m/s dV ₀ Resid Médio	Correção Total em Alcance		(10 m)
CORREÇÃO TEÓRICA DE GRADUAÇÃO DE ESPOLETA									
GEp <> Alça Regulação	Variáveis dos Valores Padrão	Correções Unitárias	(+)	(-)					
dV ₀	A D								
Vento Longitudinal	T F								
Temperatura do Ar	A D								
Densidade do Ar	A D								
Peso do Projectil (□)	A D				Correção Total Graduação Espoleta				
Correção Teórica de Graduação de Espoleta					Correção Residual Graduação Espoleta				
Corr Residual GEp Antiga () + Corr Residual GEp Nova () =					/ 2 =		Correção Residual GEp Média		
Objectivo N°	Bateria				GDH				

Figura n.º 29 – Impresso Preparação Teórica Concorrente/Subsequente

Fonte: Estado-Maior do Exército (2012)

ANEXO E – PROJÉTIL 155MM



Figura n.º 30 – Projétil 155mm

Fonte: Academia Militar (2016b)

ANEXO F – REGISTO DE TIRO

[illegible]

Figura n.º 31 – Registo de Tiro

Fonte: Academia Militar (2016g)

ANEXO G – TÁBUA DE TIRO NUMÉRICA

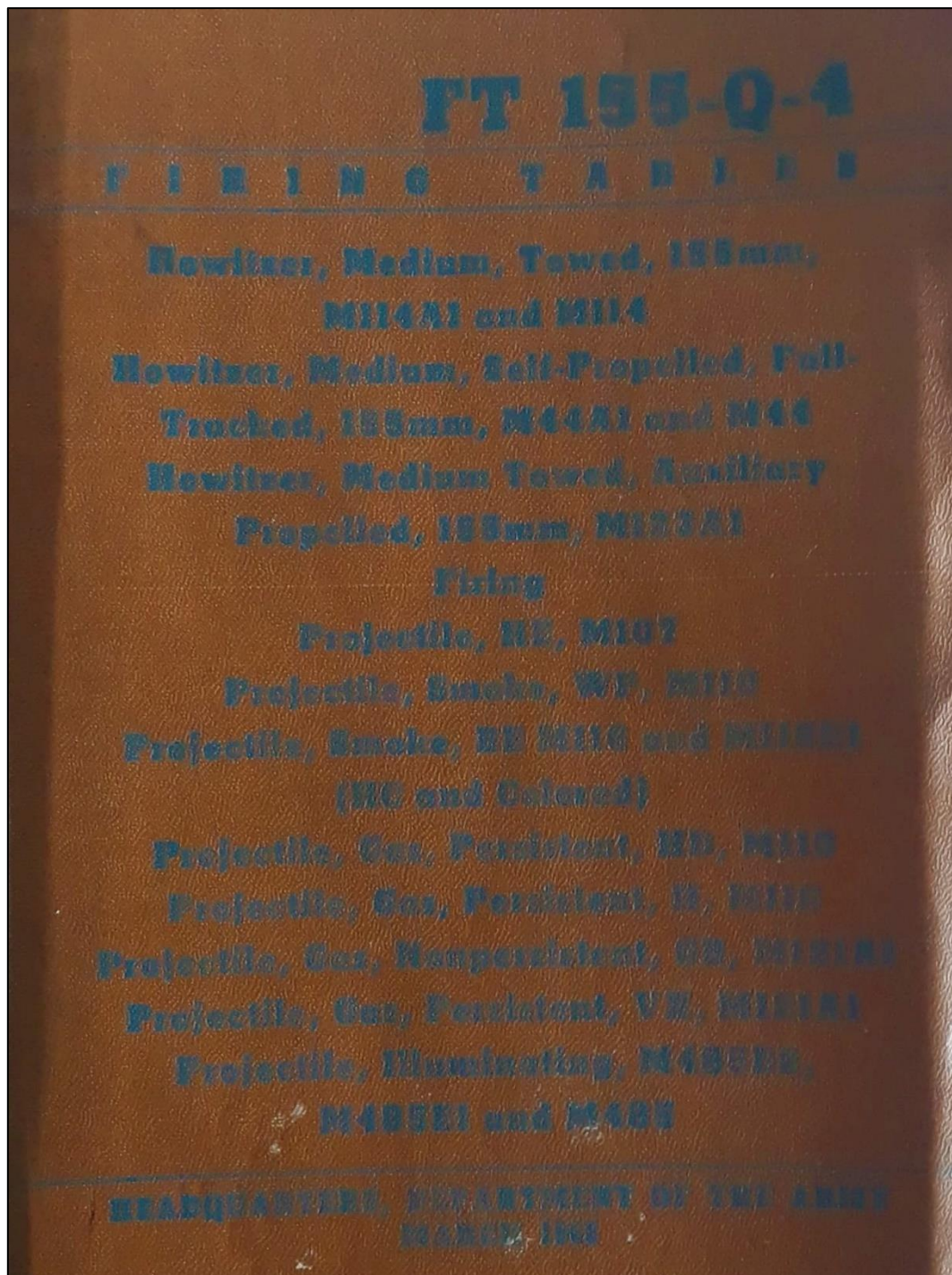


Figura n.º 32 – Tábua de Tiro Numérica

Fonte: U.S. Department of the Army (1968)

ANEXO H – TAREFAS NO POSTO CENTRAL DE TIRO

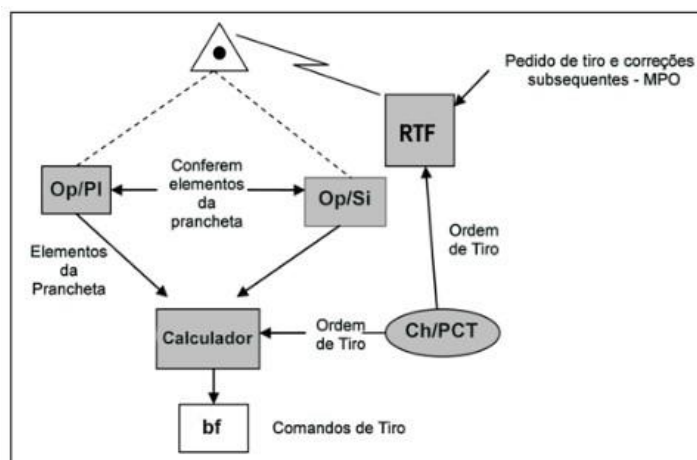


Figura n.º 33 – Tarefas no PCT

Fonte: Academia Militar (2016f)

ANEXO I – VERSO DO REGISTO DE TIRO

[illegible]

Figura n.º 34 – Verso do Registo de Tiro

Fonte: Academia Militar (2016g)

ANEXO J – VERSO DO REGISTO DO COMANDANTE DE SECÇÃO

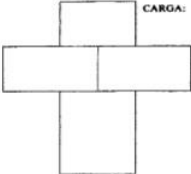
COMANDO DE TIRO NORMALIZADO										MUNIÇÕES EXISTENTES		T ^o DE SEGURANÇA						
MEC TIRO	INST ESPEC	Gr	Lot	Cg	Ep	GEp	DG	SI	Alça Distanc. Elevação	/EF	Tipo Lote Quant.	<div style="text-align: center;">  CARGA: </div>						
COMANDOS DE TIRO										MUNIÇÕES CONSUMIDAS				CORRECCÕES DE POSIÇÃO				
														CARGA	SEC	DG	ELEV	GEp
															E			
															C			
															D			
															E			
															C			
															D			
															E			
															C			
															D			
															E			
															C			
															D			
O Cmt Sec																		

Figura n.º 35 – Verso do Registo do Comandante de Secção

Fonte: Estado-Maior do Exército (1988)